

**PERENCANAAN PORTAL BAJA GEDUNG PUSAT KEGIATAN
FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM BAJA WF
DAN BALOK BAJA CASTELLA (*HONEY COMB BEAM*)**

SKRIPSI

**Disusun Oleh:
Mohammad Tajur Rijal
NIM 10.21.022**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PERENCANAAN PORTAL BAJA GEDUNG PUSAT KEGIATAN
FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM BAJA WF
DAN BALOK BAJA CASTELLA (*HONEY COMB BEAM*)**

Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :

Mohammad Tajur Rijal

NIM : 10.21.022

Menyetujui:

Desen Pembimbing I

Desen Pembimbing II

Ir. Ester Priskasari.,MT

Ir. H. Sudirman Indra., M.Sc

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Ir. A. Agus Santosa., M.T

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN PORTAL BAJA GEDUNG PUSAT KEGIATAN FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM BAJA WF DAN BALOK BAJA CASTELLA (*HONEY COMB BEAM*)

SKRIPSI

Dipertahankan Di hadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang
Strata satu (S-1)
Pada hari: Kamis
Tanggal: 12 Maret 2015
Dan diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

MOHAMMAD TAJUR RIJAL

NIM : 10.21.022

Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris

Ir. A. Agus Santosa., M.T

Lila Ayu Ratna Winanda., ST, M.T

Anggota Penguji:

Penguji I

Penguji II

Ir. Eding Iskak Imananto., M.T

Ir. A. Agus Santosa., M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S1**

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura, No.2, Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636, Fax. (0341) 417634 Malang

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mohammad Tajur Rijal
Nim : 10.21.022
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

**“PERENCANAAN PORTAL BAJA GEDUNG PUSAT KEGIATAN
FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG DENGAN
MENGUNAKAN KOLOM BAJA WF DAN BALOK BAJA CASTELLA
(HONEY COMB BEAM)”**

Adalah Skripsi hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip ataupun menyadur seluruhnya karya orang lain kecuali disebut dari sumber aslinya.

Malang, 12 Maret 2015

Yang membuat pernyataan

(Mohammad Tajur Rijal)

ABSTRAK

Rijal, Mohammad Tajur. 2015. Perencanaan Portal Baja Gedung Pusat Kegiatan Fakultas Hukum Universitas Brawijaya Malang Dengan Menggunakan Kolom Baja Wf Dan Balok Baja *Castella* (*Honey Comb Beam*). Pembimbing : (I) Ir. Ester Priskasari, MT, (II) Ir. Sudirman Indra, MSc

Keywords : Profil baja WF, Profil baja *Castella* (*Honey Comb Beam*).

Di era modern sekarang ini berkembang pesat perencanaan konstruksi bangunan yang aman dan ekonomis. Sampai saat ini banyak sekali alternatif dalam mendesain suatu bangunan, salah satunya adalah penggunaan Balok Baja *Castella* (*Honey Comb Beam*).

Pada desain balok baja *Castella* dengan menggunakan metode LRFD merupakan metode desain yang diberikannya faktor beban dan faktor reduksi untuk memperoleh desain sehingga mengetahui perubahan dimensi pada suatu profil WF dan mengetahui jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan kolom baja WF dan balok baja *Castella*.

Metodelogi yang digunakan adalah studi pustaka dan perencanaan struktur baja, kemudian dengan pembebanan dan program bantu SAP2000 v17 didapatkan nilai-nilai momen (M), gaya lintang (D), dan gaya normal (N). Sehingga dihasilkan perhitungan struktur dan gambar perencanaan.

Dari hasil perencanaan tersebut, profil baja yang digunakan WF 588x300x12x20 dihasilkan profil baja *Castella* WF 882x300x12x20 dan profil baja WF 350x17x12x11 dihasilkan profil baja *Castella* WF 437,5x300x12x11. Dengan total jumlah baut Sambungan A = 80 baut, Sambungan B = 110 baut, Sambungan C = 24 baut.

KATA PENGANTAR

Atas hidayah dan ridho Alloh S.W.T yang telah memberikan kesempatan dan semangat sehingga terselesaikannya Laporan Skripsi ini dengan judul **“Perencanaan Portal Baja Gedung Pusat Kegiatan Fakultas Hukum Universitas Brawijaya Malang Dengan Menggunakan Kolom Baja Wf Dan Balok Baja Castella (*Honey Comb Beam*)”**. Laporan Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyelesaian Laporan Skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tak lupa kiranya penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, M.T selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Dr.Ir. Kustamar, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna W., S.T, M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
5. Kedua orang tua, dan keluarga, terima kasih atas segala dukungan materiil dan doanya.
6. Rekan-rekan Teknik sipil yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari Laporan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu dengan segala kerendahan hati penyusun mohon maaf yang sebesar-besarnya jika masih banyak terdapat kekurangan di dalamnya. Untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan, diakhir kata semoga Laporan Skripsi ini dapat bermamfaat bagi kita semua.

Penyusun

Mohammad Tajur Rijal
Nim. 10.21.022

DAFTAR ISI

COVER

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metodologi	4
1.5.1 Pengumpulan Data.....	4
1.5.1.1 Data Primer.....	4
1.5.1.2 Data Sekunder.....	4
1.5.2 Metodologi Yang Digunakan.....	5
1.5.2.1 Observasi.....	6
1.5.2.2 Studi Pustaka.....	6
1.5.3 Analisis / Pengolaan Data.....	6
1.5.4 Perhitungan Struktur.....	6
1.5.5 Gambar Perencanaan.....	7
1.5.6 Kesimpulan.....	8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Material Baja.....	10
2.1.1	Sifat Utama Baja.....	10
2.1.2	Sifat Mekanis Baja.....	11
2.2	Pembebanan.....	13
2.2.1	Beban Mati	13
2.2.2	Beban Hidup.....	13
2.2.3	Beban Angin	13
2.2.4	Beban Gempa.....	14
2.2.5	Beban Kombinasi.....	14
2.3	Load and Resistance Factor Design.....	15
2.3.1	Filosofi Desain.....	15
2.3.2	Konsep Dasar.....	16
2.3.2.1	Teori Kekuatan Batas.....	16
2.3.2.2	Faktor Keamanan.....	17
2.3.2.3	Faktor Tahanan.....	18
2.4	Struktur Balok Castella.....	19
2.4.1	Pola pemotongan balok Castella.....	20
2.4.2	Cara Penumpukan/Penyambungan Kembali.....	22
2.4.3	Kekuatan Balok Castella.....	23
2.5	Komponen Struktur Lentur.....	32
2.5.1	Balok Terkekang Lateral.....	34
2.6	Batang Tekan.....	37
2.6.1	Kekuatan Kolom Dasar.....	37
2.6.2	Tahanan Tekan Nominal.....	40
2.6.3	Panjang Tekuk Kolom.....	41
2.6.4	Desain LRFD Komponen Struktur Balok Kolom.....	44
2.6.5	Perbesaran Momen Untuk Struktur Tak Bergoyang.....	45
2.6.6	Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok Kolom.....	46
2.7	Sambungan.....	46
2.7.1	Sambungan Baut.....	47

2.7.2 Sambungan Las.....	55
2.7.2.1 Jenis-Jenis Sambungan.....	56
2.7.2.2 Jenis-Jenis Las.....	57
2.7.2.3 Pembatasan Ukuran Las Sudut.....	58
2.7.2.4 Luas Efektif Las.....	59
2.7.2.5 Tahanan Nominal Sambungan Las.....	60
2.7.3 Sambungan Balok Kolom.....	62
2.8 Base Plate / Pelat Dasar.....	63

BAB III DIAGRAM ALIR

3.1 Diagram Alir Analisis.....	69
--------------------------------	----

BAB IV PERHITUNGAN PEMBEBANAN

4.1 Data Perencanaan	70
4.1.1 Data Struktur	70
4.1.2 Data Pembebanan	70
4.1.3 Data Bahan Bangunan.....	71
4.1.4 Data Perataan Beban.....	71
4.2 Perataan Beban Atap	106
4.2.1 Kuda-kuda A.....	107
4.2.2 Pembebanan Atap.....	112
4.3 Perhitungan Pembebanan.....	115
4.3.1 Beban Merata	117
4.3.2 Beban Terpusat	132
4.4 Perhitungan Beban Gempa.....	139
4.5 Perhitungan Beban Angin.....	148
4.6 Hasil Analisis Simpangan	153

BAB V PERHITUNGAN PERENCANAAN

5.1 Perhitungan Momen Portal.....	155
5.2 Perhitungan Balok Kolom Profil WF.....	155
5.2.1 Perhitungan Dimensi Kolom Balok.....	159

5.2.2 Perhitungan Aksi Kolom.....	164
5.2.3 Perhitungan Aksi Balok.....	166
5.3 Desain Penampang Castella (Balok Induk).....	169
5.4 Profil Portal <i>Frame</i>	189
5.4.1 Perhitungan Balok Kolom Profil WF.....	189
5.4.2 Perhitungan Dimensi Kolom Balok.....	193
5.4.3 Perhitungan Aksi Kolom.....	198
5.4.4 Perhitungan Aksi Balok.....	200
5.5 Sambungan Balok Kolom Tepi.....	203
5.5.1 Data perencanaan profil WF.....	203
5.5.2 Sambungan Balok Induk.....	205
5.6 Sambungan Balok Kolom Tengah.....	213
5.6.1 Data perencanaan profil WF.....	213
5.6.2 Sambungan Balok Induk.....	215
5.6.3 Data perencanaan profil WF	224
5.6.4 Sambungan Balok Induk.....	226
5.7 Perencanaan Plat Dasar (Base Plate)	233
5.7.1 Data perencanaan profil WF.....	233
5.7.2 Perhitungan Sambungan Pelat Dasar.....	233

BAB VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan.....	241
6.2 Saran.....	243

DAFTAR PUSTAKA	244
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	245
-----------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola pemotongan profil balok I dibelah sepanjang badannya	20
Gambar 2.2 Setelah pemotongan profil balok WF	21
Gambar 2.3 Geometrik hasil potongan	21
Gambar 2.4 Salah satu balok diputar 180°	22
Gambar 2.5 Dilas menjadi balok Castella segi enam.....	23
Gambar 2.6 Pola penyusunan balok Castella segi enam.....	23
Gambar 2.7 Balok Castella yang mengalami buckling pada daerah tumpuan.....	24
Gambar 2.8 Tegangan yang bekerja pada balok Castella	25
Gambar 2.9 Tinggi penampang T yang diperlukan (dT)	27
Gambar 2.10 Penampang pada balok Castella.....	29
Gambar 2.11 Modulus penampang berbagai profil simetri	33
Gambar 2.12 Nomograf panjang tekuk kolom portal	42
Gambar 2.13 Nilai faktor panjang tekuk untuk beberapa macam perletakan.....	43
Gambar 2.14 Kegagalan baut tarik dan kegagalan baut tarik lentur.....	49
Gambar 2.15 Kegagalan baut akibat geser.....	50
Gambar 2.16 Kegagalan baut akibat tumpu	53
Gambar 2.17 Transfer beban pada sambungan baut berkekuatan tinggi Di pratarik	53
Gambar 2.18 Tata letak baut	55
Gambar 2.19 Tipe-tipe sambungan las	57
Gambar 2.20 Ukuran las sudut.....	58
Gambar 2.21 Ukuran maksimum las.....	59
Gambar 2.22 Sambungan balok ke kolom dengan baut dan las	62
Gambar 2.23 Penampang pelat dasar	63
Gambar 2.24 Pelat dasar dengan eksentrisitas $e > N/6$	65
Gambar 4.1 Perataan beban plat lantai 2.....	72
Gambar 4.2 Perataan Perataan beban plat lantai 3,4,5 dan 6	73

Gambar 4.3 Perataan beban plat lantai 7.....	74
Gambar 4.4 Perataan beban plat atap.....	75
Gambar 4.5 Perataan beban atap.....	106
Gambar 4.6 Bidang K.A1	107
Gambar 4.7 Bidang K.A2	107
Gambar 4.8 Bidang K.A3	108
Gambar 4.9 Bidang K.A4	108
Gambar 4.10 Perataan beban lantai 1.....	115
Gambar 4.11 Perataan beban lantai 3,4,5 dan 6.....	116
Gambar 4.12 Perataan beban atap.....	122
Gambar 4.13 Perataan rencana atap.....	123
Gambar 4.14 Portal melintang	148
Gambar 5.1 Portal Frame.....	156
Gambar 5.2 Faktor panjang efektif	159
Gambar 5.3 Monogram factor panjang tekuk	161
Gambar 5.4 Geometrik hasil potongan	169
Gambar 5.5 Pola penyusunan balok Castella segi enam	169
Gambar 5.6 Pola Castella segi enam	174
Gambar 5.7 Geometrik hasil potongan	181
Gambar 5.8 Pola penyusunan balok Castella segi enam	181
Gambar 5.9 Pola Castella segi enam	186
Gambar 5.10 Portal Frame.....	190
Gambar 5.11 Faktor panjang efektif.....	193
Gambar 5.12 Monogram factor panjang tekuk	195
Gambar 5.13 Penamaan Sambungan	204
Gambar 5.14 Skema penyambungan kolom balok.	205
Gambar 5.15 Penamaan Sambungan	214
Gambar 5.16 Skema penyambungan kolom balok	215
Gambar 5.17 Penamaan Sambungan	225
Gambar 5.18 Skema penyambungan kolom balok	226
Gambar 5.19 Base plate dengan Eksentrisitas beban $e > N/6$	227
Gambar 5.20 Geometrik pelat dasar	234

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja.....	11
Tabel 2.2 Faktor Reduksi Baja Struktur.....	18
Tabel 2.3 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk penampang kompak	36
Tabel 2.4 Batasan Rasio Kelangsingan λ_r untuk penampang tidak kompak	36
Tabel 2.5 Tipe-tipe Baut	54
Tabel 2.6 Ukuran minimum las sudut.....	58
Tabel 4.1 Perhitungan luas bidang atap	109
Tabel 4.2 Tabel distribusi gaya horizontal akibat gempa kesepanjang tinggi gedung dalam arah X dan Y untuk tiap portal	147
Tabel 4.3 Pembacaan simpangan antar tingkat dalam (mm)	153
Tabel 4.4 Perhitungan antar tingkat arah X dalam (mm)	153
Tabel 5.1 Faktor kekakuan masing-masing elemen.....	160
Tabel 5.2 Tiap-tiap joint.....	160
Tabel 5.3 Faktor panjang efektif k , masing-masing kolom.....	162
Tabel 5.4 Faktor kekakuan masing-masing elemen.....	194
Tabel 5.5 Tiap-tiap joint.....	194
Tabel 5.6 Faktor panjang efektif k , masing-masing kolom.....	196

DAFTAR NOTASI

Butir 2.3.2.1. Teori Kekuatan Batas

- ϕR_n : kuat rencana
 R_u : kuat terfaktor atau kuat perlu

Butir 2.3.2.2. Faktor Keamanan

- ϕ : faktor resistensi (reduksi kekuatan)
 R_n : kuat nominal
 $\Sigma \gamma_i Q_i$: jumlah beban dikalikan faktor kelebihan beban

Butir 2.4. Struktur Balok Castella

- h : tinggi potongan zig-zag
 ϕ : sudut dalam potongan castella
 θ : sudut luar potongan castella

Butir 2.4.3. Kekuatan Balok Castella

- A_f : luas pelat sayap penampang T, mm
 A_s : luas pelat badan penampang T, mm
 A_T : Luas penampang pada profil T
 C_s : Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok castella
 d : Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah
 d_b : Tinggi balok asli
 d_g : Tinggi balok setelah dipertinggi
 d_T : Tinggi penampang T castella
 d_s : Tinggi web penampang T castella
 e : Panjang bagian lubang castella
 f_y : tegangan leleh (kg/cm²)
 h : Tinggi potongan zig-zag terhadap sumbu netral
 I_g : Momen inersia balok castella

I_T	: Modulus tahanan tangkai penampang T
I_t	: Momen Inersia tangkai penampang T castella
K_1	: merupakan perbandingan tinggi balok castella dengan balok aslinya
K_2	: Rasio tegangan geser maksimum pada potongan badan solid castella
M_n	: momen nominal (kgm)
M_T	: momen lentur akibat gaya lintang pada penampang T (kgm)
M_u	: momen lentur/beban layanan terfaktor (kgm)
s	: Jarak interval lubang segi enam penampang castella
S	: modulus penampang (cm^3)
S_f	: Section modulus pada bagian plat sayap
S_s	: Section modulus pada bagian plat badan
S_x	: modulus penampang (cm^3)
t_f	: tebal pelat sayap profil, mm
t_w	: tebal pelat badan (<i>web</i>), mm
V_T	: gaya lintang pada penampang T (kg)
ϕ_b	: faktor resistensi (reduksi kekuatan) untuk lentur = 0,90
V_u	: geser beban layanan terfaktor (kg)
V_n	: kekuatan nominal dalam geser (kg); $(0,6.F_{yw}.A_w)$
W_T	: Modulus Kelembaman penampang castella

Butir 2.5. Komponen Struktur Lentur

c_x, c_y	: jarak titik berat ke tepi serat arah x dan y
f	: tegangan lentur
M_x, M_y	: momen lentur arah x dan y
f_y	: kuat leleh
f_r	: tegangan sisa (<i>residu</i>), 70 MPa
I_x, I_y	: momen inersia arah x dan y
M_n	: tahanan momen nominal (kgm)
M_u	: momen lentur akibat beban terfaktor
M_p	: momen tahanan plastis
S	: modulus penampang

S_x, S_y : modulus penampang arah x dan y
 Z : modulus plastis
 ϕ_b : 0,90
 λ : kelangsingan penampang balok ($b/2.t_f$)
 λ_r, λ_p : dapat dilihat di tabel 75-1 peraturan baja atau tabel 2.4

Butir 2.6.1 Kekuatan Kolom Dasar

A_g : luas penampang kotor (cm^2)
 E_t : tangen modulus elastisitas pada tegangan P_{cr}/A_g (kg/cm^2)
 I : momen inersia (cm^4)
 k : faktor panjang efektif
 $k.L/r$: rasio kerampingan efektif (panjang sendi ekuivalen)
 L : panjang batang yang ditinjau (cm)
 P_n : kekuatan nominal (kg)
 P_u : beban layanan terfaktor (kg)
 r : radius girasi = $\sqrt{I / A_g}$
 ϕ_c : faktor reduksi kuat aksial tekan = 0,85
 ϕ_b : faktor reduksi kuat lentur = 0,90

Butir 2.6.2 Tahanan Tekan Nominal

N_n : kuat tekan nominal komponen struktur (kg) = $A_g \cdot f_{cr}$
 N_u : beban layanan terfaktor (kg)
 ϕ_c : 0,85
 λ_c : parameter kerampingan untuk kolom
 λ : rasio kerampingan untuk elemen-elemen plat

Butir 2.6.3 Panjang Tekuk Kolom

I : momen kelembaman kolom/balok (cm^4)
 L : panjang kolom/balok (cm)

Butir 2.6.4 Desain LRFD Komponen Struktur Balok Kolom

- N_u : gaya tekan aksial terfaktor
 N_n : tahanan tekan nominal
 M_{ux} : momen lentur terfaktor terhadap sumbu x
 M_{nx} : tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x
 M_{uy} : momen lentur terfaktor terhadap sumbu y
 M_{ny} : tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y
 ϕ : factor reduksi tahanan tekan = 0,85

Butir 2.6.5 Perbesaran Momen Untuk Struktur Tak Bergoyang

- M_{ntu} : momen lentur terfaktor orde pertama
 δ_b : factor perbesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang
 N_u : gaya aksial tekan terfaktor
 N_{el} : gaya tekan menurut Euler dengan (kL/r) terhadap sumbu Lentur.

Butir 2.6.6 Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok Kolom

- $\phi_b.N_y$: gaya aksial yang diperlukan untuk mencapai kondisi leleh.
 A_g : luas penampang profil.

Butir 2.7.1. Sambungan Baut

- A_b : Luas penampang lintang bruto yang melintang pada bagian tangkai baut yang tak berulir. cm^2 ($1/4 \cdot \pi \cdot d^2$)
 d_b : diameter baut nominal pada daerah tak berulir
 f_u : tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat
 f_u^b : tegangan tarik putus baut
 f_t : tegangan tarik dengan memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser. MPa
 f_{uv} : tegangan gesek akibat beban terfaktor suatu baut. MPa

f_{yp} : tegangan leleh pelat
 m : jumlah bidang geser
 M_n : Kuat lentur nominal balok.
 n : jumlah baut
 n_b : jumlah baris baut
 R_n : kuat nominal baut (0,75)

 r_1 : untuk baut tanpa ulir pada bidang geser (0,5)
 r_1 : untuk baut dengan ulir pada bidang geser (0,4)
 S_1 : jarak tepi baut
 S : jarak antar baut
 t_p : tebal plat
 V_n : Kuat geser nominal plat badan akibat geser saja.
 V_u : gaya geser terfaktor
 ϕ : faktor reduksi kekuatan (0,75)
 ϕ_f : faktor reduksi untuk fraktur (0,75)
 ϕ_f : faktor reduksi untuk fraktur (0,75)
 ϕR_n : kekuatan baut diambil yang nilai terkecil

Untuk baut mutu tinggi :

f_u^b : tegangan tarik putus baut
 f_1 : 807 MPa, $f_2 = 621$ MPa
 r_1 : untuk baut dengan ulir pada bidang geser (1,9)
 r_2 : untuk baut tanpa ulir pada bidang geser (1,5)

Untuk baut mutu normal :

f_1 : 410 MPa, $f_2 = 310$ MPa
 r_2 : (1,9)

Butir 2.7.2.3 Pembatasan Ukuran Las Sudut.

t : tebal pelat

Butir 2.7.2.5 Tahanan Nominal Sambungan Las.

- ϕ : faktor tahanan.
- R_{nw} : tahanan nominal per satuan panjang las.
- R_u : beban terfaktor persatuan panjang las.
- A_w : adalah luas geser efektif las.
- f_{uw} : kuat tarik putus logam las.

Butir 2.8. Pelat dasar

- A_b : luas penampang angkur, (mm²)
- A_1 : luas penampang baja yang secara konsentris menumpu pada permukaan beton, mm²
- A_2 : luas maksimum bagian permukaan beton yang secara geometris sama dengan dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm²
- b : lebar sayap/flens kolom
- B : Lebar plat dasar
- d : tinggi profil kolom
- f : jarak angkur kesumbu pelat dasar dan sumbu kolom
- f_c' : mutu kuat tekan beton, MPa
- f_v : tegangan geser yang terjadi pada angkur = $\frac{V_{ub}}{A_b}$
- F_v : kuat geser nominal angkur, (Mpa)
- F_t : kuat tarik nominal angkur, (Mpa)
- n : jumlah angkur
- N : panjang plat dasar
- V_{ub} : gaya geser terfaktor pada angkur, (N)
- T_{ub} : gaya tarik terfaktor pada angkur, (N)
- ϕ : faktor tahanan pada angkur = (0,75)
- ϕ_c : 0,60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Di era modern sekarang ini berkembang pesat perencanaan konstruksi bangunan yang aman dan ekonomis. Suatu konstruksi bangunan dapat berdiri kokoh dan kuat karena didukung oleh struktur bangunan. Struktur bangunan tersebut merupakan suatu sistem yang direncanakan untuk menerima gaya luar dan gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut. Dalam konstruksi baja termasuk semua pelaksanaan dalam baja profil, baja pelat atau baja bilah, maka nama ini meliputi beberapa lapangan keahlian, yang sangat berbeda-beda, jika dipandang dari sudut sifat-sifatnya yang khusus. Dalam arti ini, maka umpamanya jembatan, kapal laut, rangka-rangka baja, kilang keruk, pesawat-pesawat pengangkut, keran, ketel, tangki, gerbong kereta api dan sebagainya, termasuk lapangan konstruksi baja.

Akan tetapi dalam penyusunan tugas akhir ini membatasi diri sampai konstruksi baja untuk bangun-bangunan. Hanya bagian-bagian bangunan yang tertentu dibuat dari baja, seperti balok-balok pendukung dan konstruksi pendukung bangunan terdiri dari atas suatu susunan batang-batang baja, yang merupakan orang rangka baja, yang memindahkan beban pada pondasi, dinding-dindingnya hanya bagian-bagian yang menutup.

Penggunaan bahan baja sebagai bahan konstruksi telah mengalami perkembangan yang pesat. Dari kemajuan di dunia konstruksi salah satunya adalah *Castella*. *Castella Open Web Expanded Beams and Girders* (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan profil baja-I, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas. Gagasan semacam ini pertama kali dikemukakan oleh *H.E. Horton* dari Chicago dan *Iron Work* sekitar tahun 1910, yang sekarang ini dikenal dengan metode *Castella*. Jika pembelahannya zig-zag maka disamping bertambah tinggi juga akan dihasilkan pelat badan balok berlubang dan perluasan pelat badan balok, namun jika pembelahannya miring maka akan dihasilkan perluasan pada salah satu ujung pelat badan dan penyempitan pada ujung pelat badan yang satunya (menghasilkan balok nonprismatis).

Dengan cara semacam itu maka balok dengan luas yang sama akan menghasilkan modulus potongan dan momen inersia yang lebih besar. Namun disisi lain dengan semakin tingginya balok maka kelangsingannya semakin meningkat sehingga akan menurunkan tegangan kritisnya, atau akan menghasilkan tegangan kritis yang lebih kecil dari pada tegangan lelehnya ($f_{cr} < f_y$). Jika $f_{cr} < f_y$ maka profilnya akan cepat rusak (yang sering disebut *prematur calleb*), hal ini dapat diatasi dengan cara memasang pengaku pada bagian pelat badannya.

Gedung Pusat Kegiatan Fakultas Hukum Brawijaya terdiri atas 7 lantai yang dibangun dengan struktur beton biasa. Memiliki bentuk arsitektur dan denah yang tiap lantainya hampir sama. Sehingga perbedaan yang diakibatkan oleh perubahan perencanaan dari struktur beton bertulang biasa menjadi struktur baja dapat terlihat jelas terutama pada segi dimensi.

1.2. Rumusan Masalah.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas perlu dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besar dimensi profil baja yang akan digunakan?
2. Berapa baut yang dibutuhkan pada sambungan kolom baja WF dan balok baja *Castella (Honey Comb Beam)*?

1.3. Maksud Dan Tujuan.

Adapun maksud dan tujuan penulisan dari studi alternatif perencanaan struktur dengan menggunakan balok *Castella (Honey Comb Beam)* ini adalah :

1. Mengetahui berapa besar dimensi profil baja yang akan digunakan.
2. Mengetahui jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan kolom baja WF dan balok baja *Castella (Honey Comb Beam)*.

1.4. Batasan Masalah.

Pada perencanaan ulang Gedung Pusat Kegiatan Fakultas Hukum Brawijaya Malang ini penulis membatasi lingkup pembahasan yang meliputi :

1. Menghitung berapa besar dimensi profil baja yang akan digunakan.
2. Menghitung jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan kolom baja WF dan balok baja *Castella (Honey Comb Beam)*.

1.5. Metodologi.

1.5.1. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

1.5.1.1. Data Primer

Merupakan data yang meliputi hasil tinjauan dan pengamatan langsung dilapangan berupa letak, luas area, rangkain yang terkait strukturtural bangunan.

1.5.1.2. Data Sekunder

Merupakan data pendukung yang dipakai dalam studi analisis untuk penyusunan tugas akhir baik dari lapangan maupun dari literatur yang ada serta peraturan-peraturan yang terkait dalam studi analisis ini.

Data-data tersebut meliputi :

1. Data dimensi profil baja yang digunakan dilapangan..
2. Jenis atau model sambungan yang ada dilapangan.
3. Peraturan-peraturan yang digunakan.
4. Data teknis :

- Fungsi Bangunan : Gedung Pusat Kegiatan.
- Lokasi Bangunan : Kompleks fakultas hukum
Jl. MT. Haryono 169-Malang
Jawa Timur.
- Jumlah Lantai : 7 Lantai
- Tinggi Bangunan : 28 m
- Bentang Memanjang : 40,8 m
- Bentang Melintang : 19 m

5. Data non teknis :

- Metode analisa yang digunakan.

1.5.2. Metodologi Yang Digunakan

Langkah yang digunakan setelah mengetahui data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan data. Adapun metode yang digunakan adalah observasi dan studi pustaka.

1.5.2.1. Observasi

Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara peninjauan dan pengamatan langsung dilapangan.

1.5.2.2. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan metode pengumpulan data dengan cara mencari refrensi literatur, peraturan–peraturan terkait perencanaan dan standar yang digunakan.

1.5.3. Analisis / Pengolaan Data

Analisis dan pengolaan data dilakukan berdasarkan data yang dibutuhkan, sebagai acuan dalam perhitungan struktur portal baja bertingkat. Adapun analisis yang digunakan adalah membahas penggunaan kolombajaWF danbalok baja *castella* sebagai alternatif dari balok dan kolom beton.

1.5.4. Perhitungan Struktur

Perancangan detail struktur dilakukan dengan membuat draft gambar rencana, menghitung konstruksi baja, merencanakan Kolom Baja I-WF dan Balok Baja *Castella*.

Adapun Perhitungan struktur meliputi :

1. Perhitungan pembebanan.

2. Perhitungan statika dengan menggunakan program software CSI SAP2000 17.0.
3. Perencanaan balok *Castella (Honey Comb Beam)*.
4. Perencanaan kolom (*Column*).
5. Perencanaan sambungan (*Connections*).
6. Perencanaan plat dasar (*Base Plat*).

1.5.5. Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan merupakan visualisasi dari analisa dan perancangan struktur. Tujuan dari gambar perencanaan adalah :

1. Sebagai pedoman dalam pelaksanaan dilapangan.
2. Mempermudah dalam pengawasan dalam pengawasan pada waktu pelaksanaan.

Dalam gambar perencanaan dibuat dengan benar dan selengkap mungkin, sehingga mempermudah dalam pembacaan. Ada pun beberapa yang dituangkan dalam gambar dalam studi analisis tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Gambar Portal Melintang.
2. Pola Balok Sebelum Dipotong
3. Penyusunan Balok Setelah Dipotong.

4. Balok Yang Diperlukan.
5. Gambar Detail, (Sambungan, Potongan)

1.5.6. Kesimpulan

Setelah semua proses telah selesai maka didapat kesimpulan dari perhitungan perencanaan dari Kolom Baja WF dan Balok Baja Castella pada Relokasi Gedung Pusat Kegiatan Fakultas Hukum Universitas Brawijaya.

Peraturan yang dipakai dalam perencanaan struktur adalah :

1. American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction*", *thirteenth edition*. Chicago, 2005
2. Badan Standarisasi Nasional, "*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729-2002*", Bandung, 2000
3. Badan Standarisasi Nasional, "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002*" Jakarta, 2001
4. Blodgett Omer W, "*Design of Welded Structures*"
5. Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 1, Desain dan Prilaku*", edisi ketiga, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1992
6. Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 2, Desain dan Prilaku*", edisi kedua, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1995

7. Setiawan Agus, "*Perencanaan Struktur Baja, Metode LRFD*", edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 2013
8. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1987

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Baja

2.1.1. Sifat Utama Baja.

Dari beberapa proses pembuatan baja dapat diketahui bahwa secara umum sifat-sifat dasar baja, tergantung pada faktor-faktor seperti : cara melebur, macam-macam dan banyaknya campuran logam serta cara pengerjaannya.

Baja struktur harus memiliki sifat-sifat utama guna memberikan kekuatan untuk melayani beban dan aksi lain yang timbul pada suatu struktur. Adapun sifat-sifat utama dari baja sebagai berikut :

1. Keteguhan (Solidity).

Adalah batas dari tegangan-tegangan dalam, dimana perpatahan mulai berlangsung. Hal ini berarti daya lawan terhadap tarikan, tekanan dan lentur.

2. Elastisitas (Elasticity).

Adalah kesanggupan untuk berubah bentuk dalam batas-batas pembebanan tertentu dan apabila pembebanan ditiadakan, maka akan kembali ke bentuk yang semula.

3. Kekenyalan (Tenacity).

Adalah kemampuan baja untuk menyerap energi mekanis atau kesanggupan untuk menerima perubahan-perubahan bentuk yang besar tanpa menderita kerugian berupa cacat/kerusakan yang terlihat dari luar

dan dalam jangka pendek sebelum patah, masih bias berubah bentuknya dengan banyak.

4. Kemungkinan Ditempa (Malleability).

Dalam keadaan merah pijar baja menjadi lembek dan plastis tanpa merugikan sifat-sifat keteguhan sehingga dapat dirubah bentuknya.

5. Kemungkinan dilas (Weldability).

Sifat dalam keadaan panas dapat digabungkan satu dengan yang lain memakai atau tidak bahan tambahan, tanpa merugikan sifat keteguhannya.

6. Kekerasan (Hardnes).

Yaitu kekuatan melawan masuknya benda lain ke dalamnya.

2.1.2. Sifat Mekanis.

Sifat mekanis baja dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1. Sifat Mekanis Baja Struktur

Mutu Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (Mpa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 11).

Sifat-sifat mekanis baja struktural untuk perencanaan ditetapkan sebagai konstanta berikut :

- Modulus Elastisitas Baja (E) = $2,0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.
- Poison Ratio (μ) = 0,3 : untuk baja struktural pada daerah elastis
= 0,5 : untuk baja struktural pada daerah plastis
- Modulus Elastisitas Geser (τ) = $\frac{E}{2+(1+\mu)}$
- Koefisien Pemuaian Linier (αt) = 12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$.

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ Mega Pascal} = 10 \text{ kg/cm}^2.$$

Keuntungan – keuntungan lainnya yang dapat kita peroleh dari struktur baja, seperti :

1. Proses pemasangan dilapangan berlangsung dengan cepat.
2. Komponen-komponen strukturnya bisa dipergunakan lagi untuk keperluan lainnya.
3. Komponen-komponen yang sudah tidak bias digunakan lagi masih mempunyai nilai sebagai besi tua.
4. Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.

Kelemahan-kelemahan dari bahan baja sebagai berikut :

1. Komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran.
2. Diperlukannya biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat.

3. Akibat kemampuan untuk menahan beban tekuk pada batang-batang yang langsing. Walaupun dapat menahan gaya-gaya aksial, tapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horizontal.

2.2. Pembebanan.

Jenis pembebanan yang harus diperhitungkan dalam hal ini adalah beban vertikal dan beban horizontal sesuai dengan yang tertera pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987 (PPIUG – 1987). Pada tahap analisa gaya-gaya dalam pada struktur utama, dilakukan pembebanan dengan beberapa kombinasi pembebanan yang terfaktor menurut spesifikasi LRFD.

2.2.1 Beban Mati.

Beban mati yaitu beban yang diakibatkan oleh berat sendiri konstruksi yang bersifat tetap dan terdiri dari : dinding, lantai, atap, plafon, tangga, balok, kolom.

2.2.2 Beban Hidup.

Beban hidup beban yang ditimbulkan oleh jenis kegunaan gedung yang bersifat tidak tetap, misalnya : manusia, peralatan yang tidak tetap.

2.2.3 Beban Angin.

Beban angin yaitu beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur dan beban ini harus diperhitungkan untuk struktur tingkat tinggi.

2.2.4 Beban Gempa.

Beban gempa yaitu beban yang ditimbulkan akibat gerakan-gerakan lapisan bumi kearah horizontal dan vertikal, namun biasanya gerakan vertikalnya lebih kecil dibandingkan gerakan horisontalnya.

2.2.5 Beban Kombinasi.

Adapun prosedur desain LRFD menggunakan enam kombinasi beban terfaktor yang diberikan dalam persamaan berikut :

- 1) $1,4 D$
- 2) $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (La \text{ atau } H)$
- 3) $1,2 D + 1,6 (La \text{ atau } H) + (0,8 W)$
- 4) $1,2 D + 1,3 W + 0,5 L (La \text{ atau } H)$
- 5) $1,2 D \pm 1,0 E$
- 6) $0,9 D \pm (1,3 W \text{ atau } 1,5 E)$

Dimana :

D = beban mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural).

L = beban hidup (beban yang dapat bergerak).

La = beban hidup atap.

W = beban angin.

E = beban gempa (*ditentukan menurut : SNI 03-1726-2002*).

H = beban air hujan.

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 13)

2.3. Load and Resistance Factor Design

2.3.1. Filosofi Desain

Dewasa ini telah dipergunakan dua filosofi desain yaitu desain tegangan kerja dan desain keadaan batas yang disebut *Load and Resistance Factor Design* (LRFD). Keadaan batas adalah suatu keadaan pada struktur bangunan di mana bangunan tersebut tidak bisa memenuhi fungsi yang telah direncanakan. Keadaan batas dapat dibagi atas kategori kekuatan (*Strength*) dan daya layan (*serviceability*). Keadaan batas kekuatan atau keamanan adalah kekuatan daktil (*ductile*) maksimum biasa disebut kekuatan plastis, tekuk, lelah (*fatigue*), pecah (*fracture*), guling, dan geser. Keadaan batas layan berhubungan dengan dengan penghunian bangunan, seperti lendutan, getaran, deformasi permanen, dan retak. Dalam perencanaan keadaan batas, keadaan batas kekuatan atau batas yang berhubungan dengan keamanan dicegah dengan mengalikan suatu faktor pada pembebanan. Berbeda dengan perencanaan tegangan kerja yang meninjau keadaan pada beban kerja, peninjauan pada perencanaan keadaan batas ditujukan pada ragam keruntuhan (*failure mode*) / keadaan batas dengan membandingkan keamanan pada kondisi keadaan batas. Pada balok misalnya, kriteria aman pada perencanaan keadaan batas bisa dinyatakan sebagai $M(FS) \leq Mu$ dengan M adalah momen beban kerja maksimum yang diperbesar dengan mengalikannya dengan faktor FS untuk keamanan. Momen yang diperbesar harus mengakibatkan balok mencapai keadaan batas kekuatan. Mu adalah kekuatasn batas sebenarnya yang dicapai. Portal kaku berdimensi tiga dianalisa sebagai system berdimensi dua. Sambungan sering dianggap sederhana

(sendi) atau kaku (jepit), sedang sesungguhnya berada diantara kedua keadaan tersebut.

(Sumber : *Struktur Desain dan Perilaku Jilid 1 Charles G Salmon hal.24*).

2.3.2. Konsep Dasar

2.3.2.1. Teori Kekuatan Batas

Komponen struktur beserta sambungannya harus direncanakan untuk keadaan kekuatan batas sebagai berikut :

1. Beban-beban dan aksi-aksi harus ditentukan sesuai dengan beban mati, hidup, angin, hujan, atap dan gempa.
2. Pengaruh-pengaruh aksi terfaktor (R_u) sebagai akibat dari beban-beban keadaan batas harus ditentukan dengan analisis struktur.
3. Kuat Rencana (ϕR_n) harus ditentukan dari kuat nominal (R_n) yang ditentukan berdasarkan komponen struktur, dikalikan dengan factor reduksi (ϕ).
4. Semua komponen struktur dan sambungan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat rencana (R_n) tidak kurang dari pengaruh aksi terfaktor (R_u) yaitu :

$$R_u \leq \phi R_n.$$

Keterangan :

R_u = kekuatan yang dibutuhkan (LRFD) / kuat terfaktor / kuat perlu

R_n = kekuatan nominal / kuat rencana.

ϕ = faktor tahanan / reduksi (≤ 1).

(Sumber : *Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung Menggunakan Metode LRFD* hal. 14).

2.3.2.2. Faktor Keamanan.

Secara umum, persamaan untuk persyaratan keamanan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i$$

Dimana :

ϕ : faktor resistensi (reduksi kekuatan)

R_n : kuat nominal

$\sum \gamma_i Q_i$: jumlah beban dikalikan faktor kelebihan beban.

Dimana ruas kiri mewakili resistensi, atau kekurangan dari komponen atau sistem, sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diharapkan akan ditanggung. Pada sisi kekuatan, harga nominal resistensi R_n dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk mendapatkan kekuatan desain. Pada sisi beban Q_i dikalikan dengan faktor-faktor kelebihan beban γ_i , untuk mendapatkan jumlah beban-beban terfaktor $\sum \gamma_i Q_i$. Faktor mungkin saja berlainan untuk masing-masing tipe beban Q yang bekerja seperti beban mati (D), beban hidup (L), beban angin (W), beban gempa (E).

(Sumber: *Struktur Baja 1 “Desain dan Perilaku : C.G Salmon, John E Johnson* hal 28).

2.3.2.3. Faktor Tahanan (Resistensi)

Tabel 2.2. Faktor Reduksi Baja Struktur

Kuat rencana untuk	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur :	
• Balok	0,90
• Balok plat berdinding penuh	0,90
• Plat badan yang memikul geser	0,90
• Plat badan pada tumpuan	0,90
• Pengaku	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial :	
• Kuat penampang	0,85
• Kuat komponen struktur	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial :	
• Terhadap kuat penampang	0,90
• Terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi :	
• Kuat lentur atau geser	0,90
• Kuat tarik	0,90
• Kuat tekan	0,85
Komponen struktur komposit :	
• Kuat tekan	0,85
• Kuat tumpu beton	0,60
• Lentur dengan distribusi tegangan plastis	0,85

Kuat rencana untuk	Faktor reduksi
<ul style="list-style-type: none"> Lentur dengan distribusi tegangan elastis 	0,90
Sambungan baut :	
<ul style="list-style-type: none"> Baut yang memikul geser 	0,75
<ul style="list-style-type: none"> Baut yang memikul tarik 	0,75
<ul style="list-style-type: none"> Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik 	0,75
<ul style="list-style-type: none"> Lapis yang memikul tumpu 	0,75
Sambungan las :	
<ul style="list-style-type: none"> Las tumpul penetrasi penuh 	0,90
<ul style="list-style-type: none"> Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian 	0,75
<ul style="list-style-type: none"> Las pengisi 	0,75

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 18)

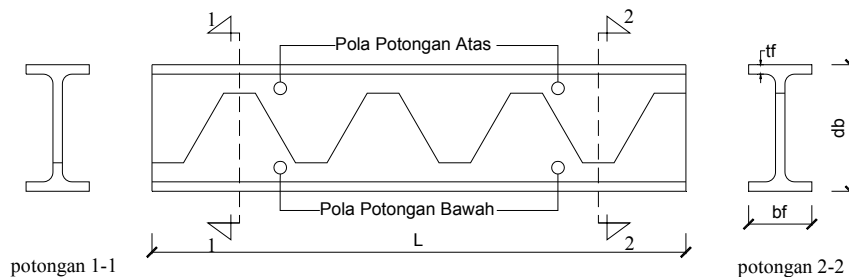
2.4 Struktur Balok Castella

Balok *castella* adalah balok yang terbentuk dengan cara pemotongan balok WF (*Wide Flange*) secara berliku-liku dengan membentuk sudut tertentu. Tujuan dari “*Castella Beam*” adalah untuk mengurangi berat dan mempertinggi profil, pada prinsipnya adalah memperbesar modulus penampang (S) dan momen inersia (I) suatu profil sehingga akhirnya akan menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dibandingkan profil aslinya. Balok *castella* ini dihasilkan dari suatu pemotongan profil WF atau I yang berpola berliku-liku sepanjang garis netral dengan menggunakan las sepanjang balok. Setengah bagian dari potongan tersebut diputar sampai ujungnya bertemu ujung setengah bagian yang lain dan kemudian

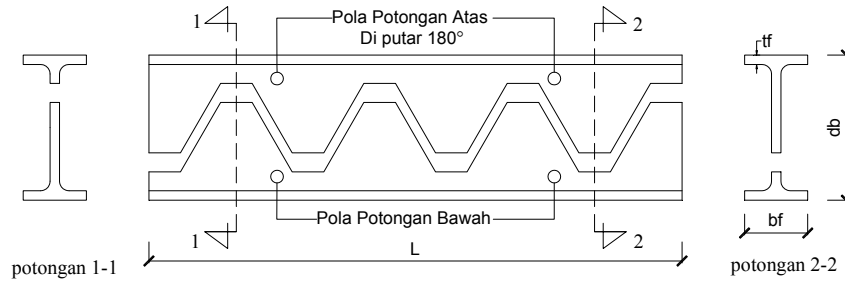
disatukan dengan las. Sehingga didapat balok profil yang lebih tinggi dari balok aslinya dan berlubang ditengah-tengahnya yang berbentuk seperti sarang lebah. Penggunaan las sebagai penyambung adalah karena las merupakan bagian dari konstruksi dimana dengan pengelasan yang baik, maka akan menghasilkan kekuatan sambungan yang lebih besar daripada material yang akan disambung. Selain itu juga penggunaan las akan memberikan efisiensi dalam pemakaian material sehingga berat konstruksi akan ikut berkurang, cepat dalam pembuatan (*fabrication*) dan pemasangan (*erection*).

2.4.1. Pola Pemotongan Balok Castella

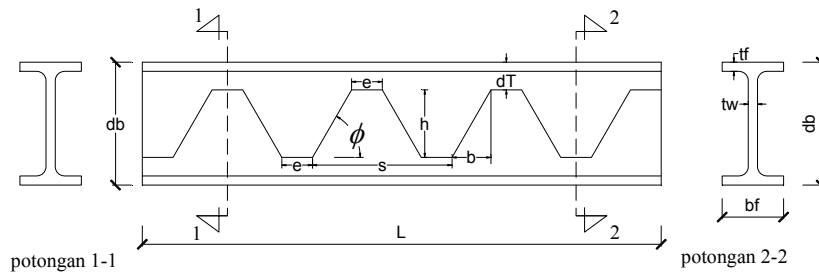
Pola pemotongan balok dan bentuk geometrik hasil pemotongan badan akan membantu menentukan nilai dari bagian yang akan dipotong dan menentukan juga besaran-besaran pada balok yang akan dipakai dalam perhitungan kekuatan balok terlihat pada gambar 2.1, 2.2 dan, gambar 2.3.



Gambar 2.1. Pola pemotongan profil balok I dibelah sepanjang badannya.



Gambar 2.2. Setelah pemotongan profil balok WF



Gambar 2.3. Geometrik hasil potongan.

Dimana :

$$\tan \phi = \frac{h}{b} \text{ atau } b = \frac{h}{\tan \phi}$$

$$dg = db + h \text{ atau } dT = \frac{db - h}{2}$$

$$s = 2.(b + e)$$

Pada umumnya sudut ϕ berkisar antara 45° sampai 70° sedang yang biasa dipakai adalah $\phi = 45^\circ$ dan $\phi = 60^\circ$. Sudut α harus diambil sedemikian rupa hingga tegangan geser horizontal sepanjang garis netral pada badan profil tidak melampaui tegangan geser ijin.

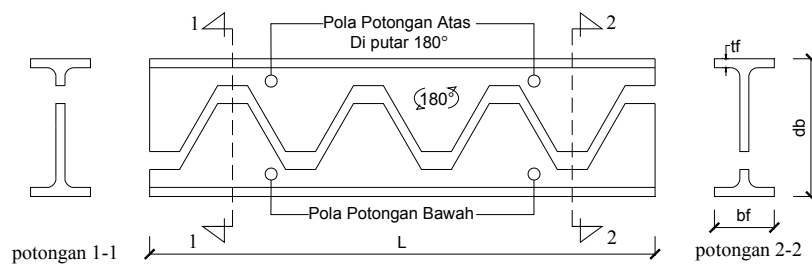
(Sumber; *Design of Welded Structures*; Omer W. Blodgett ; 4.7-2)

2.4.2. Cara Penumpukan / Penyambungan Kembali

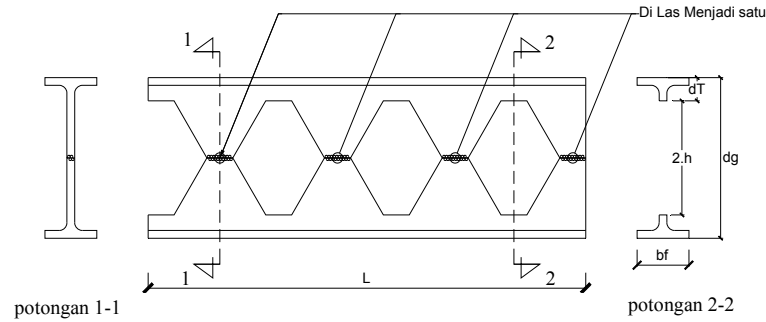
Untuk membuat balok castella yaitu dengan cara memutar salah satu potongan dan menumpuk atau menyatukan kembali puncak–puncak potongan profil tunggal tadi dengan las, sehingga didapat balok profil yang lebih tinggi dari balok aslinya dan berlubang ditengah-tengahnya yang menyerupai sarang lebah.

Dalam melakukan pemotongan harus diperhitungkan terlebih dahulu berapa besar e dan b serta sudut kemiringan potongan guna menghindari kurang tepatnya penumpukan atau penyambungan kembali.

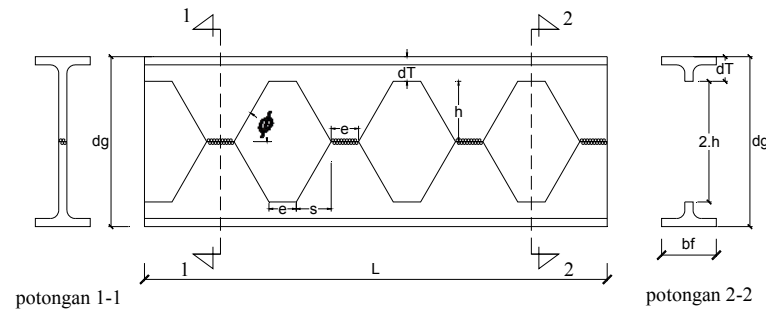
Jika e dapat diatur untuk mendapatkan lubang-lubang sarang lebah yang dapat memberikan jarak lubang yang cukup untuk proses pengelasan. Namun bertambahnya jarak e akan memperbesar tegangan lentur pada penampang T akibat bekerjanya gaya lintang V atau gaya geser V . Oleh karenanya harga e harus diambil sedemikian rupa agar tegangan lentur yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.



Gambar 2.4. Salah satu balok diputar 180°



Gambar 2.5. Dilas menjadi menjadi balok Castella segi enam



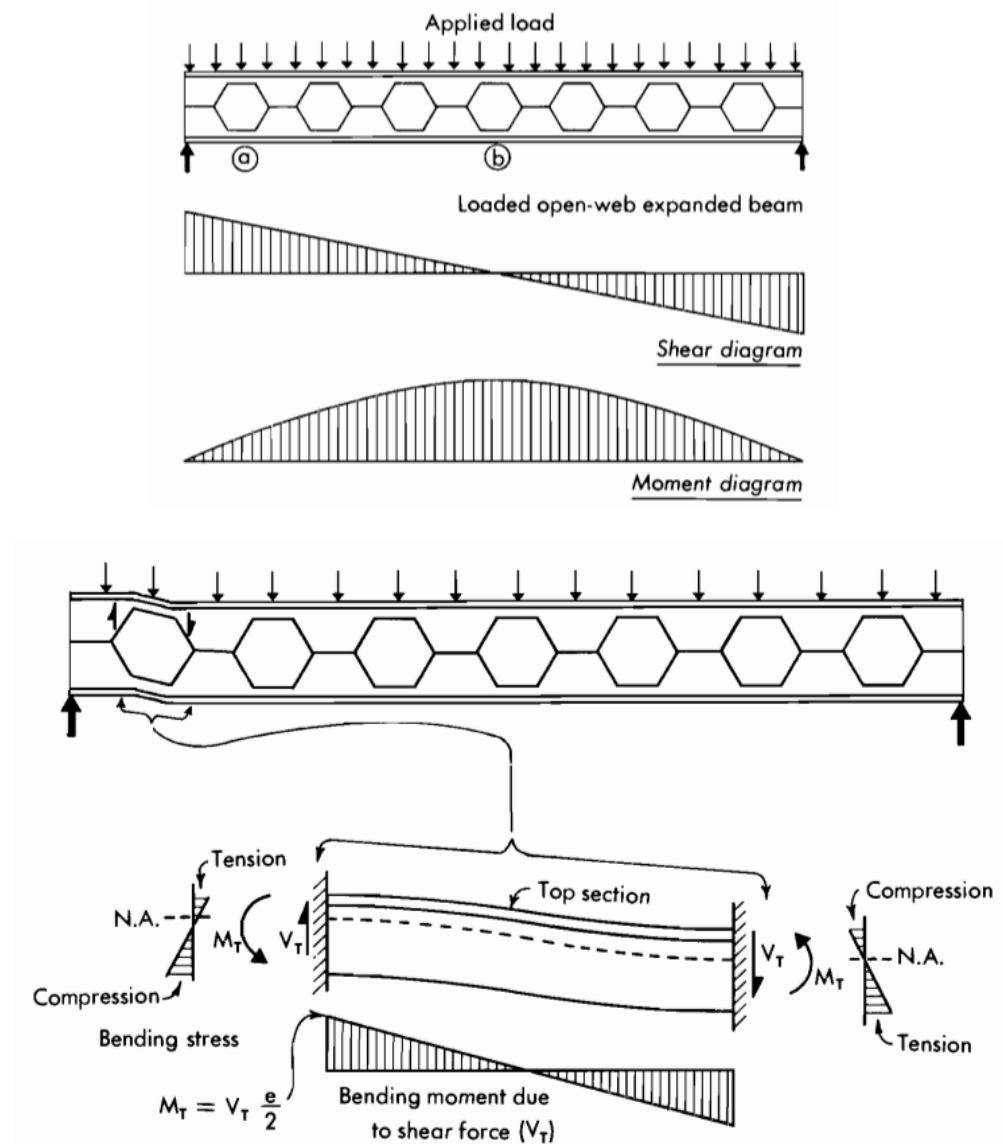
Gambar 2.6. Pola penyusunan balok Castella segi enam

2.4.3. Kekuatan Balok Castella

Dalam perencanaan balok castellsa, flens memikul sebagian besar beban lentur, maka pengurangan luas badan profil tidak menjadi persoalan bila ditinjau dari daya tahan terhadap momen. Namun gaya lintang (V) yang dianggap dipikul oleh badan profil harus ditinjau lebih lanjut. Dua bagian T atas dan bawah pada setiap badan yang berlubang menahan gaya geser vertikal.

Gaya lintang pada tengah bentang mempunyai harga minimum sehingga tidak mempengaruhi kekuatan balok. Mendekati tumpuan dimana gaya lintang (V) makin besar, tegangan lentur utama yang diakibatkan gaya lintang pada potongan T harus dimasukkan pada perhitungan tegangan lentur utama akibat

beban balok. Titik balik momen lentur akibat gaya lintang dari bagian T atas dan bawah diasumsikan terjadi di tengah dari bagian badan yang terbuka ($e/2$). Dan selanjutnya gaya geser vertikal total atau gaya lintang total dibagi sama antara dua bagian T seperti terlihat pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7. Balok Castella yang mengalami buckling pada daerah tumpuan

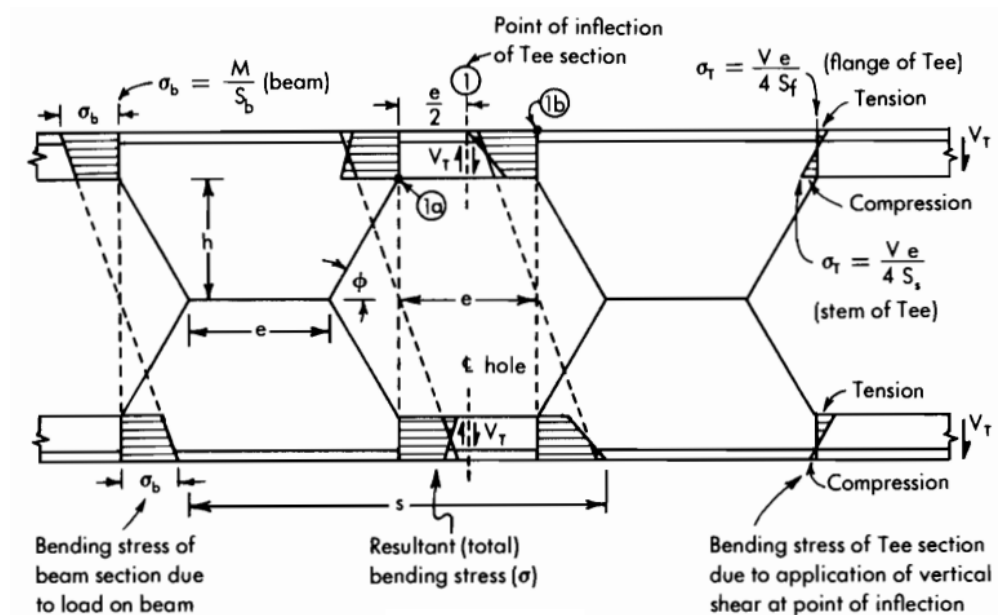
(Rumus : *Design of Welded Structures*; Omer W. Blodgett ; 4.7-3)

$$M_T = V_T \cdot \frac{e}{2} \dots\dots\dots(2.4.3.1)$$

Dimana :

M_T : momen lentur akibat gaya lintang pada penampang T (kgm)

V_T : gaya lintang pada penampang T (kg)



Gambar 2.8. Tegangan yang bekerja pada balok castella

(Sumber; *Design of Welded Structures*; Omer W. Blodgett ; 4.7-4)

tegangan lentur sekunder pada bagian plat badan profil T karena geser vertikal (V) pada bagian (1), ditambah tegangan lentur utama pada profil T karena terkena momem (M) pada bagian (1a).

$$\sigma_{1a} = \frac{M_{1a} \cdot h}{I_g} + \frac{V_1 \cdot e}{4 \cdot S_s} \dots\dots\dots(2.4.3.2)$$

tegangan lentur sekunder pada bagian plat sayap profil T karena geser vertikal (V) pada bagian (1), ditambah tegangan lentur utama pada profil T karena terkena momem (M) pada bagian (1b).

$$\sigma_{1b} = \frac{M_{1b} \cdot d_g}{I_g \cdot 2} + \frac{V_1 \cdot e}{4 \cdot S_f} \dots\dots\dots(2.4.3.3)$$

Keterangan :

- d : jarak antara sumbu netral dari bagian profil T
- d_b : tinggi balok asli
- d_g : tinggi balok setelah dipertinggi
- e : panjang bagian plat badan pada garis netral dan pada profil T
- h : tinggi potongan terhadap sumbu netral
- A_T : luas penampang pada profil T
- I_g : momen inersia balok castella
- S_f : section modulus pada bagian plat sayap
- S_s : section modulus pada bagian plat badan

(Sumber : *Design of Welded Structures*; Omer W. Blodgett ; 4.7-4)

Tahapan untuk mendesain *castella* antara lain digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

1. Mencari nilai modulus penampang (S_g) castella yang diperlukan :

$$S_g = \frac{M}{\sigma} \dots\dots\dots(2.4.3.4)$$

Keterangan :

M : momen, kg.m

σ : tegangan leleh profil baja, MPa

2. Mencari nilai perbandingan tinggi balok *castella* dengan balok aslinya

(K_1), diasumsikan 1,5 :

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \dots\dots\dots(2.4.3.5)$$

Keterangan :

d_g : tinggi balok *castella*, mm

d_b : tinggi balok aslinya, mm

3. Mencari tinggi pemotongan zig-zag balok *castella* (h):

$$h = d_b.(K_1 - 1) \dots\dots\dots(2.4.3.6)$$

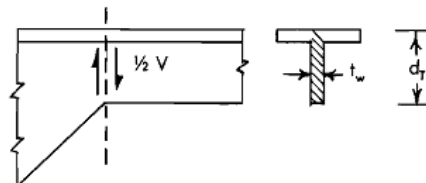
Keterangan :

h : tinggi potongan zig-zag terhadap sumbu netral, mm

4. Mencari tinggi penampang T yang diperlukan (d_T) :

$$d_T \geq \frac{V}{2.t_w.\sigma} \dots\dots\dots(2.4.3.7)$$

$$h = d_b - 2.d_T \dots\dots\dots(2.4.3.8)$$



Gambar 2.9. Tinggi penampang T yang diperlukan (d_T)

(Sumber; *Design of Welded Structures*; Omer W. Blodgett ; 4.7-4)

Keterangan :

V : gaya geser, kg

t_w : tebal pelat badan (*web*), mm

h : tinggi potongan zig-zag terhadap sumbu netral, mm

5. Mencari tinggi balok *castella* (d_g) :

$$d_g = d_b + h \dots\dots\dots(2.4.3.9)$$

6. Tinggi penampang T yang dipakai (d_T) :

$$d_T = (d_g / 2) - h \dots\dots\dots(2.4.3.10)$$

7. Tinggi plat badan (*web*) penampang T (d_s) :

$$d_s = d_T - t_f \dots\dots\dots(2.4.3.11)$$

Keterangan :

t_f : tebal pelat sayap profil, mm

8. Menghitung tegangan lentur pelat badan *castella* yang diijinkan ($\bar{\sigma}$) :

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \frac{10,434}{Cc^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right] 0,6.\sigma \dots\dots\dots(2.4.3.12)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2.\pi^2.E}{\sigma}} \dots\dots\dots(2.4.3.13)$$

9. Menghitung tegangan geser pelat badan *castella* yang berlubang (σ_v) :

$$\sigma_v = \frac{4.((\pi.\theta)/180^\circ).\bar{\sigma}}{3.tg\theta} \dots\dots\dots(2.4.3.14a)$$

Untuk tegangan maksimum :

$$\sigma_{\max} = 1,16 \frac{95\% V}{t_w \cdot d_g} \dots\dots\dots (2.4.3.14b)$$

10. Menghitung rasio tegangan geser pada potongan pelat badan solid (K_2)

$$K_2 = \frac{e}{s} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} \dots\dots\dots (2.4.3.15)$$

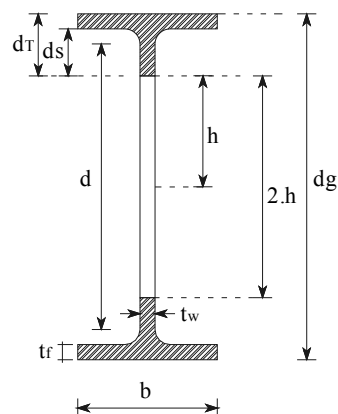
$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \tan \theta}{(1/K_2) - 2} \dots\dots\dots (2.4.3.16)$$

Keterangan :

e : panjang bagian lubang *castella*

s : jarak interval lubang segi enam penampang *castella*

11. Perluasan penampang T *castella* (A_T)



Gambar 2.10. Penampang pada balok *castella*.

(Sumber: *Design of Welded Structures: Omer W. Blodgett : 4.7-17*)

$$A_T = A_f + A_s \dots\dots\dots(2.4.3.17)$$

$$A_f = b \times t_f \dots\dots\dots(2.4.3.18)$$

$$A_s = d_s \times t_w \dots\dots\dots(2.4.3.19)$$

Keterangan :

A_f : luas pelat sayap penampang T, mm

A_s : luas pelat badan penampang T, mm

12. Mencari nilai modulus kelembamam penampang T (W_T)

$$W_T = A_f(d_s + (t_f / 2)) + A_s(d_s / 2) \dots\dots\dots(2.4.3.20)$$

13. Mencari nilai momen inersia penampang T (I_T)

$$I_T = A_f(d_s^2 + (d_s t_f) + (t_f^2 / 3) + A_s(d_s^2 / 3) \dots\dots\dots(2.4.3.21)$$

14. Mencari jarak titil berat penampang T dari ujungtangkai penampang T castella (C_s).

$$C_s = \frac{W_T}{A_T} \dots\dots\dots(2.4.3.22)$$

15. Mencari nilai momen inersia tangkai penampang T (I_t)

$$I_t = I_T - C_s W_T \dots\dots\dots(2.4.3.23)$$

16. Modulus tahanan tangkai penampang T (S_s)

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \dots\dots\dots(2.4.3.24)$$

17. Jarak titik berat penampang T atas dan bawah (d)

$$d = 2.(h + C_s) \dots\dots\dots(2.4.3.25)$$

18. Momen Inersia penampang castella (I_g)

$$I_g = 2.I_t + ((A_T.d^2)/2) \dots\dots\dots(2.4.3.26)$$

19. Modulus tahanan penampang castella (I_g)

$$S_g = \frac{2.I_g}{d_g} \dots\dots\dots(2.4.3.27)$$

20. Jarak interval lubang segi enam penampang castella (s)

$$s = 2.(e + h.t_g \theta) \dots\dots\dots(2.4.3.28)$$

Anggapan-anggapan yang dipakai dari balok *castella* ini adalah :

1. Bagian sayap atas dan bawah dari balok castella masing-masing mengalami tegangan lentur tekan dan tarik akibat momen lentur (M_u), bila dianggap momen lentur dipikul sepenuhnya oleh pelat sayap maka harus dipenuhi :

Rumus LRFD

$$M_u \leq \phi_b . M_n \dots\dots\dots(2.4.3.29)$$

$$M_n = S_x . f_y \dots\dots\dots(2.4.3.30)$$

Keterangan :

M_u : momen lentur (kgm)

M_n : momen nominal (kgm)

S_x : modulus penampang (cm³)

f_y : tegangan leleh (kg/cm²)

ϕ_b : faktor resistensi (reduksi kekuatan) untuk lentur = 0,90

(Sumber; *Struktur Baja I*; Charles G. Salmon; 7.4.1 & 7.3.1)

2. Gaya lintang atau gaya geser vertikal (V_u) akan menimbulkan tegangan geser vertikal yang dianggap dipikul oleh badan, baik pada badan yang utuh maupun pada bagian tegak penampang T di lubang balok castellsa.
3. Di lubang balok Castellsa, gaya geser terbagi dua sama besar pada bagian atas dan bawah penampang T, dengan anggapan tinggi penampang T sama untuk bagian atas dan bawah. Dari anggapan bahwa titik balik (*point of inflection*) momen lentur terjadi di tengah-tengah lubang maka momen sekunder maksimum (momen akibat gaya lintang) pada potongan T.

$$M_T = V_T \cdot \frac{e}{2} \dots\dots\dots(2.4.3.31)$$

Rumus (*Sumber; Design of Welded Structures; Omer W. Blodgett; 4.7-3*)

4. Gaya geser horisontal (V_h) yang bekerja pada bagian badan yang utuh sepanjang garis netral dapat menyebabkan tekuk pada bagian ini.
5. Pada bagian badan yang utuh menerima gaya aksial vertikal yang terbagi setengah untuk setiap gaya vertikal yang berbeda yaitu (V_1) dan (V_2) yang bekerja di tengah lubang ($e/2$)
6. Pada tumpuan ujung badan profil harus utuh dan dapat diperkuat dengan pelat penguat badan (*double plate*)

2.5 **Komponen Struktur Lentur**

Balok merupakan komponen struktur yang memikul beban-beban akibat gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup. Komponen struktur balok merupakan kombinasi dari elemen tekan dan elemen tarik, karena bagian elemen

yang mengalami tekan sepenuhnya terkekang baik dalam arah sumbu kuat maupun sumbu lemahnya. Rumus umum perhitungan tegangan akibat momen lentur ($\sigma = M.c/I$) dapat digunakan dalam kondisi umum. tegangan lentur pada penampang profil yang mempunyai minimal satu sumbu simetri, dan dibebani pada pusat gesernya, dapat dihitung dari persamaan :

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} \dots\dots\dots(2.5.1)$$

dengan $S_x = \frac{I_x}{c_y}$ dan $S_y = \frac{I_y}{c_x} \dots\dots\dots(2.5.2)$

sehingga $f = \frac{M_x \cdot c_y}{I_x} + \frac{M_y \cdot c_x}{I_y} \dots\dots\dots(2.5.3)$

dimana :

f : tegangan lentur

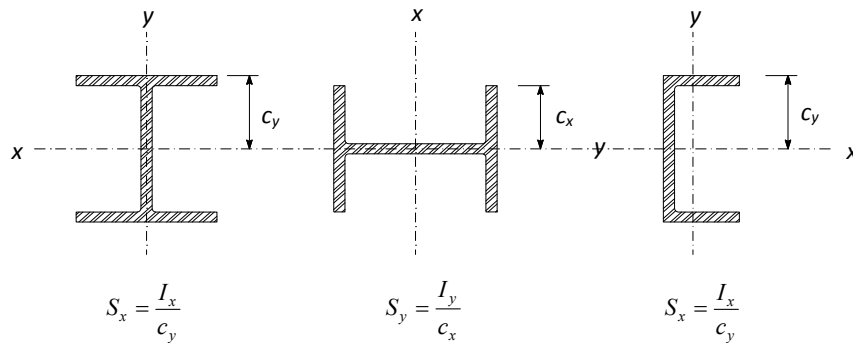
M_x, M_y : momen lentur arah x dan y

S_x, S_y : modulus penampang arah x dan y

I_x, I_y : momen inersia arah x dan y

c_x, c_y : jarak titik berat ke tepi serat arah x dan y

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*; Agus Setiawan; hal 80-81)



Gambar 2.11. Modulus penampang berbagai profil simetri

2.5.1 Balok Terkekang Lateral

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan :

$$\phi_b \cdot M_n > M_u \dots\dots\dots(2.5.1.1)$$

Keterangan :

ϕ_b : 0,90

M_n : tahanan momen nominal (kgm)

M_u : momen lentur akibat beban terfaktor

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD; Agus Setiawan; hal 84-85*)

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, dan tidak kompak, dan langsing seperti halnya pada batang tekan. Batasannya kompak, tidak kompak, dan langsing adalah :

1. Penampang Kompak : $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tidak Kompak : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Penampang langsing : $\lambda > \lambda_r$

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak adalah :

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \dots\dots\dots(2.5.1.2)$$

Keterangan :

M_p : momen tahanan plastis

Z : modulus plastis

f_y : kuat leleh

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang tidak kompak pada saat $\lambda = \lambda_r$ adalah :

$$M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S \dots\dots\dots(2.5.1.3)$$

Keterangan :

f_y : kuat leleh

f_r : tegangan sisa (*residu*)

S : modulus penampang

Rumus untuk lendutan yang dipakai adalah :

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI} \dots\dots\dots(2.5.1.4)$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal:89*)

Besarnya tegangan sisa $f_r = 70$ MPa untuk penampang gelas panas, dan 115 MPa untuk penampang yang dilas. Bagi penampang yang tidak kompak yang mempunyai $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, maka besarnya tahanan momen nominal dicari dengan melakukan interpolasi linier, sehingga diperoleh :

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} M_r \dots\dots\dots(2.5.1.5)$$

Keterangan :

λ : kelangsingan penampang balok ($b/2 \cdot t_f$)

λ_r, λ_p : dapat dilihat di tabel 75-1 peraturan baja atau tabel 2.4

Tabel 2.3 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk penampang kompak

[Modulus Elastisitas Baja, E = 200.000 MPa]			
Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flans $\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_r} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	46,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,40	82,97	39,02

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 184*)**Tabel 2.4** Batasan Rasio Kelangsingan λ_r untuk penampang tidak kompak

[Modulus Elastisitas Baja, E = 200.000 MPa]		
Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flans $\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{2250}{\sqrt{f_y}}$
210	2,64	175,97
240	2,18	164,60
250	2,06	161,28
290	1,68	149,74
410	1,09	125,94

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 186*)

2.6 Batang Tekan

Dari mekanika bahan dasar diketahui bahwa hanya kolom yang sangat pendek saja yang dapat dibebani sampai ke tegangan lelehnya. Situasi yang umum, yakni tekukan (buckling) atau lenturan tiba-tiba akibat ke tidak stabilan terjadi sebelum tercapainya kekuatan penuh material elemen yang bersangkutan. Dengan demikian, untuk desain elemen-elemen tersebut dalam struktur baja, diperlukan pengetahuan yang mendalam mengenai elemen batang tekan.

2.6.1. Kekuatan Kolom Dasar

Untuk menentukan kekuatan kolom dasar, beberapa kondisi perlu diasumsikan bagi sebuah kolom ideal. Sedangkan materialnya dapat diasumsikan bahwa terdapat sifat tegangan-tegangan tekan yang sama di seluruh penampang, tidak terdapat tegangan interval awal seperti yang terjadi karena pendinginan setelah penempaan atau pengelasan. Mengenai bentuk dan kondisi ujung, dapat diasumsikan bahwa kolom tersebut lurus dan prismatik sempurna, resultan beban bekerja melalui sumbu sentroid elemen tekan sampai elemen tekan tersebut melentur. Kondisi ujung harus ditentukan sehingga dapat panjang ujung jepit ekuivalennya. Kemudian asumsi lebih lanjut tentang tekuk, seperti teori defleksi kecil pada problema lentur biasa dapat diberlakukan dan gaya geser dapat diabaikan, serta puntiran atau distorsi penampang lintang tidak terjadi selama lenturan. Untuk itu kekuatan sebuah kolom dapat diwujudkan sebagai;

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t A_g}{(KL/r)^2} = f_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots(2.6.1.1)$$

Keterangan :

E_t : tangen modulus elastisitas pada tegangan P_{cr}/A_g (kg/cm²)

$K.L/r$: rasio kerampingan efektif (panjang sendi ekuivalen)

K : faktor panjang efektif

L : panjang batang yang ditinjau (cm)

A_g : luas penampang kotor (cm²)

I : momen inersia (cm⁴)

r : radius girasi = $\sqrt{I / A_g}$

(Sumber; *Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.3.1*)

Filosofi desain faktor beban dan resistensi (LRFD) bertujuan memberikan margin keamanan dan konstanta bagi semua kolom. Bila kekuatan tersebut bervariasi menurut kerampingan, tentulah variasi ini harus dicakup dalam kekuatan nominal P_n

Kekuatan nominal P_n dari suatu elemen tekan adalah dihitung dengan menggunakan provisi kekuatan kolom;

$$P_n = A_g \cdot f_{cr} \dots\dots\dots(2.6.1.2)$$

Keterangan :

P_n : Kekuatan nominal batang tekan yang dibebani secara aksial

f_{cr} : tegangan kritis pada kondisi tekan (*tegangan tekuk*) (kg/cm²)

A_g : luas penampang kotor (cm²)

1. Untuk $\lambda_c \leq 1,5$: $f_{cr} = (0,658 \cdot \lambda_c^2) f_y \dots\dots\dots(2.6.1.3)$

2. Untuk $\lambda_c \geq 1,5$: $f_{cr} = \left[\frac{0,887}{\lambda_c^2} \right] f_y \dots\dots\dots(2.6.1.4)$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 E}} \dots\dots\dots(2.6.1.5)$$

Keterangan :

λ_c : parameter kerampingan

A_g : luas penampang kotor (cm²)

K : faktor panjang efektif

L : panjang batang/kolom (cm)

f_y : tegangan leleh baja (kg/cm²)

r : radius girasi (cm) = $\sqrt{I / A_g}$

(Sumber; *Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.7.6*)

Persyaratan kekuatan dan resistansi menurut LRFD

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots(2.6.1.6)$$

Keterangan :

P_n : kekuatan nominal (kg)

P_u : beban layanan terfaktor (kg)

ϕ_c : faktor reduksi kuat aksial tekan = 0,85

ϕ_b : faktor reduksi kuat lentur = 0,90

(Sumber; *Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.8.1*)

2.6.2. Tahanan Tekan Nominal

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor N_u , menurut *SNI 03-1729-2002, pasal 9.1* harus memenuhi :

$$N_u \leq \phi_c \cdot N_n \dots\dots\dots(2.6.2.1)$$

Keterangan :

N_n : kuat tekan nominal komponen struktur (kg) = $A_g \cdot f_{cr}$

N_u : beban layanan terfaktor (kg)

ϕ_c : 0,85

Tegangan kritis untuk daerah elastis, ditulis sebagai :

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2 \cdot f_y} = \frac{I}{\lambda_c^2} \dots\dots\dots(2.6.2.2)$$

Sehingga $\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \dots\dots\dots(2.6.2.3)$

Daya dukung nominal N_u struktur tekan dihitung sebagai berikut :

$$N_u = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots(2.6.2.4)$$

dengan besarnya ω ditentukan oleh λ_c , yaitu :

untuk $\lambda_c < 0,25$ maka $\omega = 1 \dots\dots\dots(2.6.2.5a)$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c} \dots\dots\dots(2.6.2.5b)$

untuk $\lambda_c > 1,2$ maka $\omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2 \dots\dots\dots(2.6.2.5c)$

Keterangan :

λ_c : parameter kerampingan untuk kolom

λ : rasio kerampingan untuk elemen-elemen plat

2.6.3. Panjang Tekuk Kolom

Kekuatan kolom mengasumsikan ujung sendi di mana tidak ada kekangan rotasional momen. Kekangan momen nol pada ujung merupakan situasi paling lemah untuk batang tekan yang salah satu ujungnya tidak dapat bergerak transversal relatif terhadap ujung lainnya. Untuk kolom berujung sendi semacam ini, panjang ekivalen ujung sendi KL merupakan panjang L sebenarnya; dengan demikian $K = 1$.

Panjang ekivalen berujung sendi disebut sebagai panjang efektif. Untuk memaksa sendi plastis pada balok, maka kolom dibuat lebih kuat (*over strenght*).

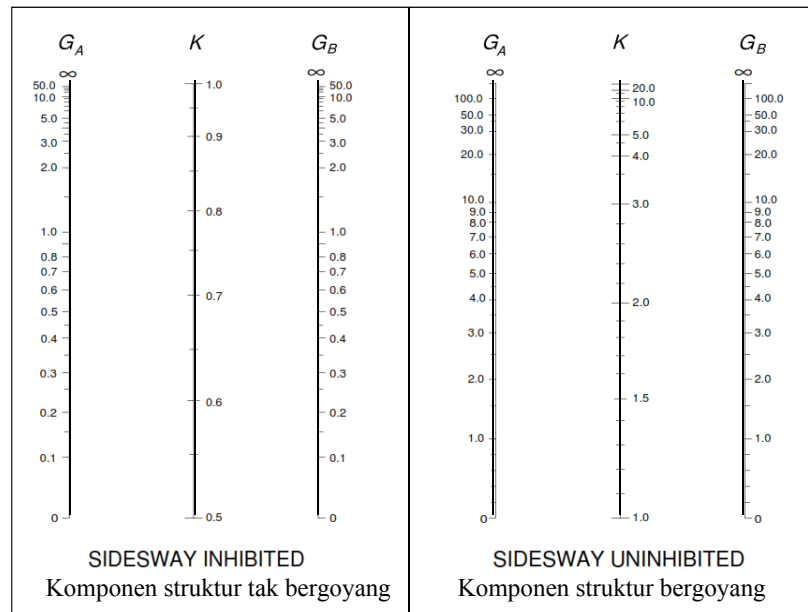
Untuk maksud tersebut, maka kolom direncanakan masih dalam keadaan elastis. Panjang efektif kolom (L_k) didapat dengan mengalihkan suatu faktor panjang efektif (k) dengan panjang kolom (L), nilai “ k ” didapat dari nomograf (*AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstraction, Column Design 3-6*), dengan menghitung nilai G , yaitu :

$$G = \frac{\sum (I/L)_{kolom}}{\sum (I/L)_{balok}} \dots\dots\dots (2.6.3.1)$$

Keterangan :

I : momen kelembaman kolom/balok (cm^4)

L : panjang kolom/balok (cm)







Gambar 2.12. Nomograf panjang tekuk kolom portal

(Sumber; *AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstraction, second edition; Column Design 3-6*)

Kolom dengan kekangan yang besar terhadap rotasi dan translasi pada ujung-ujungnya (contohnya tumpuan jepit) akan mampu menahan beban yang besar dibandingkan dengan kolom yang mengalami rotasi serta translasi pada bagian tumpuannya (contohnya adalah tumpuan sendi). Selain tumpuan ujung, besar beban yang dapat diterima oleh suatu komponen struktur tekan juga tergantung dari panjang efektifnya. Semakin kecil panjang efektif suatu komponen struktur tekan, maka semakin kecil pula resiko terhadap masalah tekuk.

Panjang efektif suatu kolom secara sederhana dapat didefinisikan sebagai jarak diantara dua titik pada kolom tersebut yang mempunyai momen sama dengan nol, atau didefinisikan pula sebagai jarak diantara dua titik belok dari kelengkungan kolom.

Garis terputus menunjukkan posisi kolom saat tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai k_c teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k_c desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Keterangan kode ujung	 (jepit)  (sendi)  (rol tanpa rotasi)  (ujung bebas)					

Gambar 2.13 Nilai faktor panjang tekuk untuk beberapa macam perletakan

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II*, Agus Setiawan, hal: 57)

2.6.4 Desain LRFD Komponen Struktur Balok Kolom

Perencanaan komponen struktur balok-kolom, diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \geq 0,2 \dots\dots\dots(2.6.4.1)$$

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{9}{8} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots(2.6.4.2)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 0,2 \dots\dots\dots(2.6.4.3)$$

$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots(2.6.4.4)$$

Keterangan :

N_u : gaya tekan aksial terfaktor

N_n : tahanan tekan nominal

M_{ux} : momen lentur terfaktor terhadap sumbu x

M_{nx} : tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x

M_{uy} : momen lentur terfaktor terhadap sumbu y

M_{ny} : tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y

ϕ : factor reduksi tahanan tekan = 0,85

2.6.5 Perbesaran Momen Untuk Struktur Tak Bergoyang

Untuk komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut :

$$M_u = \delta_b \cdot M_{ntu} \dots\dots\dots (2.6.5.1)$$

Keterangan :

M_{ntu} : momen lentur terfaktor orde pertama

δ_b : factor perbesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang

Dimana :

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{e1}} \right)} \geq 1 \dots\dots\dots (2.6.5.2)$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots (2.6.5.3)$$

Keterangan :

N_u : gaya aksial tekan terfaktor

N_{e1} : gaya tekan menurut Euler dengan (KL/r) terhadap sumbu
Lentur.

2.6.6. Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok Kolom

Dari table 7.5.1 SNI 03-1729-2002 memberikan batasan nilai untuk λ_p dan λ_r sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} < 0,125 \dots\dots\dots(2.6.6.1)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_b \cdot N_y} \right) \leq 1 \dots\dots\dots(2.6.6.2)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} \geq 0,125 \dots\dots\dots(2.6.6.3)$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2.6.6.4)$$

$$N_y = A_g \cdot f_y \dots\dots\dots(2.6.6.5)$$

Keterangan :

$\phi_b \cdot N_y$: gaya aksial yang diperlukan untuk mencapai kondisi leleh.

A_g : luas penampang profil.

2.7 Sambungan

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las). Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi

yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan.

Terdapat tiga klasifikasi sambungan :

1. Sambungan kaku
2. Sambungan semi kaku
3. Sambungan sendi

Dalam merencanakan sambungan, kuat rencana setiap sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung, dan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya=gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berada berdekatan harus mampu memikul gaya=gaya yang bekerja padanya.

2.7.1 Sambungan Baut

Setiap struktur baja merupakan gabungan dari beberapa komponen batang yang disatukan dengan alat pengencang. Salah satu alat pengencang disamping las yang cukup populer adalah baut terutama baut mutu tinggi. Baut

mutu tinggi menggeser penggunaan paku keling sebagai alat pengencang karena beberapa kelebihan yang dimilikinya dibanding kan paku keling, seperti penggunaan tenaga kerja yang lebih sedikit, kemampuan menerima gaya yang lebih besar dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya konstruksi. Selain mutu tinggi, ada pula baut mutu normal A 307 terbuat dari baja kadar karbon rendah.

Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang di standarkan ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam, baut A325 terbuat dari baja karbonyang memiliki kuat leleh 560–630 MPa sedangkan baut A490 yang terbuat dari baja alloy dengan kuat leleh 790–900 MPa.

Untuk baut yang memikul gaya terfaktor, R_n , harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots\dots\dots (2.7.1.1)$$

Keterangan :

ϕ : faktor reduksi kekuatan (0,75)

R_n : kuat nominal baut (0,75)

a. Kekuatan tarik desain baut

$$\phi T_d = \phi_f T_n = \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots (2.7.1.2)$$

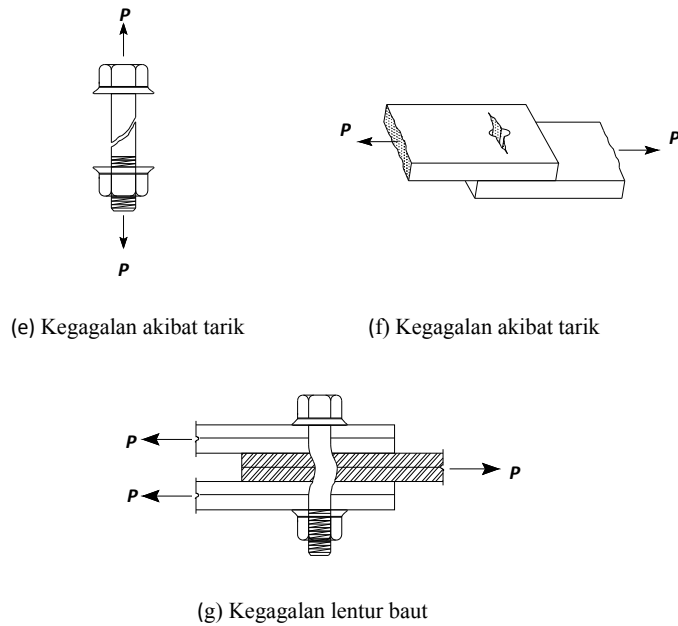
Keterangan :

ϕ_f : faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

f_u^b : tegangan tarik putus baut

A_b : Luas penampang lintang bruto yang melintang pada bagian tangkai baut yang tak ber berulir. $\text{cm}^2 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right)$

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100)



Gambar 2.14. Kegagalan baut tarik dan kegagalan baut tarik lentur

(Sumber; Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Struktur Baja Ihal 127-128)

b. Kekuatan geser desain satu baut dihitung dengan :

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots(2.7.1.3)$$

Keterangan :

ϕ_f : faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

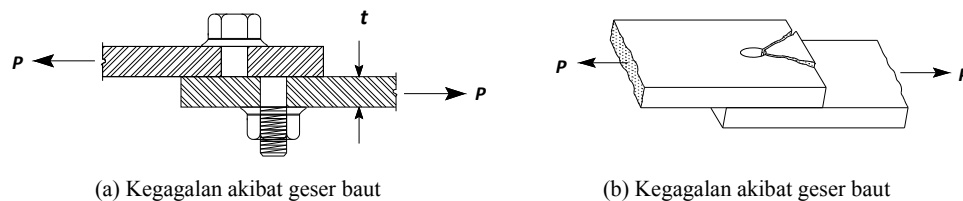
f_u^b : tegangan tarik putus baut

r_1 : untuk baut tanpa ulir pada bidang geser (0,5)

r_1 : untuk baut dengan ulir pada bidang geser (0,4)

A_b : Luas penampang lintang bruto yang melintang pada bagian tangkai baut yang tak ber ulir. cm^2 ($1/4 \cdot \pi \cdot d^2$)

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100)



Gambar 2.15. Kegagalan baut akibat geser

(Sumber; *Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Struktur Baja* hal 127-128)

c. Kekuatan tumpu desain satu baut:

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar dari pada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar dari 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana umpu dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \dots \dots \dots (2.7.1.4)$$

Kuat tumpu yang dapat dari perhitungan diatas berlaku untuk semua jenis baut. Sedangkan untuk jenis baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut ini :

$$R_d = \phi_f R_n = 2,0 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \dots \dots \dots (2.7.1.5)$$

Keterangan :

ϕ_f : faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

f_u : tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

t_p : tebal plat

d_b : diameter baut nominal pada daerah tak berulir

Baut pada sambungan tipe tumpu yang memikul kombinasi geser dan tarik. Baur yang memikul gaya geser terfaktor, V_u , dan gaya tarik terfaktor T_u , secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut:

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \leq r_1 \cdot \phi_f \cdot f_u^b \cdot m \dots\dots\dots(2.7.1.6)$$

$$T_d = \phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot f_t \cdot A_b \geq \frac{T_u}{n} \dots\dots\dots(2.7.1.7)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv} \leq f_2 \dots\dots\dots(2.7.1.8)$$

Keterangan :

ϕ_f : faktor reduksi kuat tumpu baut (0,75)

n : jumlah baut

m : jumlah bidang geser

f_{uv} : tegangan gesek akibat beban terfaktor adalah tegangan tarik dengan memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser, MPa

untuk baut mutu tinggi :

f_1 : 807 MPa, $f_2 = 621$ MPa

r_1 : untuk baut dengan ulir pada bidang geser (1,9)

r_2 : untuk baut tanpa ulir pada bidang geser (1,5)

f_u^b : tegangan tarik putus baut

untuk baut mutu normal :

$$f_1 : 410 \text{ MPa}, f_2 = 310 \text{ MPa}$$

$$r_2 : (1,9)$$

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100)

Kontrol baut terhadap tarik

$$T_u \leq T_d = \phi f_t \cdot A_b \dots \dots \dots (2.7.1.9)$$

Keterangan :

f_t : tegangan tarik dengan memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser. Mpa

Anggap beban tarik baut = T_d (diambil dari T_d tarik murni dan kombinasi geser tarik yang terkecil).

$$\text{Garis netral : } a = \frac{\sum T}{f_{yp} \cdot b} = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot n_b \cdot n}{f_{yp} \cdot b} \dots \dots \dots (2.7.1.10)$$

Keterangan :

f_{yp} : tegangan leleh pelat

n_b : jumlah baris baut

Momen rencana yang dapat ditahan oleh sambungan adalah :

$$M_u \leq \phi M_n \dots \dots \dots (2.7.1.11)$$

$$M_r = \phi M_n = \frac{0,9 \cdot f_{yp} \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \dots \dots \dots (2.7.1.12)$$

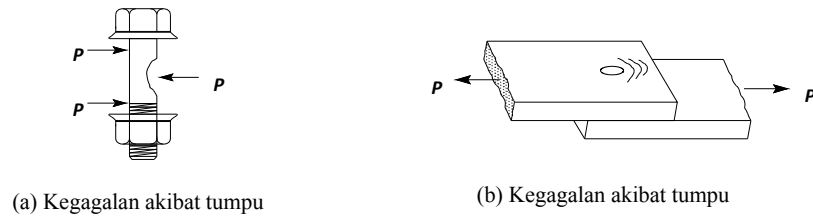
$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \dots \dots \dots (2.7.1.13)$$

(Sumber : SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 48)

Keterangan :

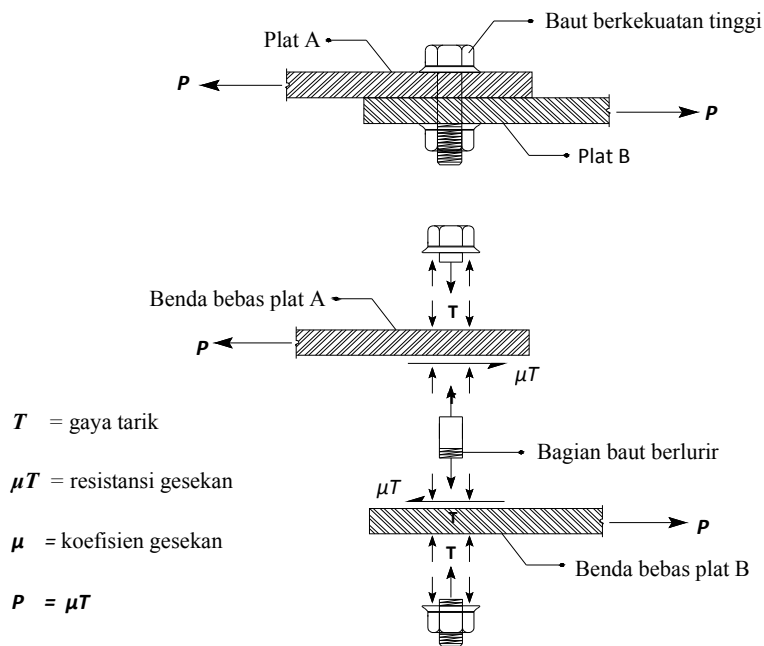
V_n : Kuat geser nominal plat badan akibat geser saja.

M_n : Kuat lentur nominal balok.



Gambar 2.16. Kegagalan baut akibat tumpu

(Sumber; Charles G. Salmon dan John E. Johnson, *Struktur Baja I* hal 127-128)



Gambar 2.17. Transfer beban pada sambungan baut berkekuatan tinggi dipratarik

(Sumber; Charles G. Salmon dan John E. Johnson, *Struktur Baja I* hal 127)

Untuk perhitungan jumlah baut (n) adalah :

$$n = (V_u / \phi R_n) \dots \dots \dots (2.7.1.14)$$

Keterangan :

ϕR_n : kekuatan baut diambil yang nilai terkecil

V_u : gaya geser terfaktor

Tabel 2.5 Tipe-tipe Baut

Tipe Baut	Diameter Baut (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min (MPa)
A307	6,35 – 104	–	60
A325	12,7 – 25,4	585	825
	28,6 – 38,1	510	725
A490	12,7 – 38,1	825	1035

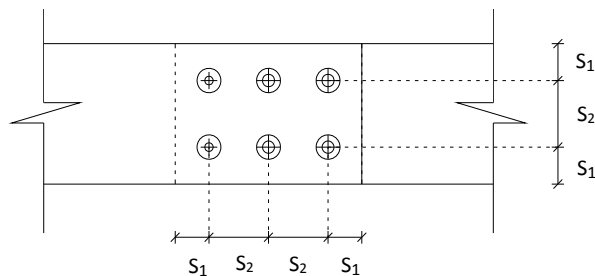
(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal:109*)

Tata letak baut diatur dalam SNI 03–1729–2002 Pasal 13.4. Jarak antar pusat lubang baut pengencang tidak boleh kurang dari 3 kali diameter nominal pengencang.

Untuk jarak minimum dari pusat pengencang ketepi pelat atau pelat sayap profil harus memenuhi 3 spesifikasi dibawah ini.

1. Tepi dipotong dengan tangan = $1,75 d_b$
2. Tepi dipotong dengan mesin = $1,5 d_b$
3. Tepi profil bukan hasil tangan = $1,25 d_b$

Sedangkan jarak maksimum antara pusat pengencang tidak boleh melebihi $15 t_p$ (dengan t_p adalah tebal plat lapis tertitis didalam sambungan), atau 200 mm. Pada pengencang yang tidak perlu memikul beban terfaktor dalam daerah yang mudah berkarat, jarak tidak boleh melebihi $32 t_p$ atau 300 mm. pada baris luar pengencang dalam arah rencana, jarak tidak boleh melebihi $(4 t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm. Untuk jarak tepi maksimum dari pusat tap pengencang ketepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain tidak boleh lebih dari 12 kali tebal plat lapis luar tertitis dalam sambungan dan juga tdak boleh melebihi 150 mm.



Gambar 2.18. Tata letak baut

Keterangan :

S_1 : jarak tepi baut

S_2 : jarak antar baut

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 110*)

2.7.2 Sambungan Las.

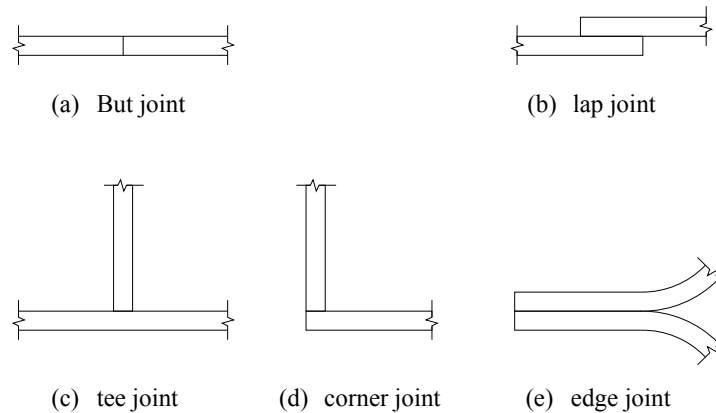
Pengelasan adalah suatu proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanasinya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan

pengisi. Meskipun pengetahuan tentang las sudah ada sejak beberapa ribu tahun silam, namun pemakaian las dalam bidang konstruksi dapat dibilang masih baru, dalam hal ini antara lain disebabkan pemikiran para ahli mengenai beberapa kerugian las yaitu bahwa las mengurangi tahanan lelah bahan (*fatigue strength*) dibandingkan paku keling dan mereka juga berpendapat bahwa tidak mungkin untuk memastikan kualitas las baik.

2.7.2.1 Jenis-Jenis Sambungan

- 1. Sambungan sebidang (*butt joint*),** sambungan ini umumnya untuk pelat-pelat datar dengan ketebalan sama atau hampir sama, keuntungan sambungan ini adalah tak adanya eksentrisitas. Ujung-ujung yang hendak disambung harus dipersiapkan terlebih dulu (diratakan atau dimiringkan) dan elemen yang disambung harus dipertemukan secara hati-hati.
- 2. Sambungan lewatan (*lap joint*),** jenis sambungan ini paling banyak dijumpai karena sambungan ini mudah disesuaikan keadaan di lapangan dan juga penyambungannya relative lebih mudah. Juga cocok untuk tebal pelat yang berlainan.
- 3. Sambungan tegak (*tee joint*),** jenis sambungan ini paling banyak dipakai terutama untuk membuat penampang tersusun seperti bentuk I, pelat *girder*, *stiffener*.
- 4. Sambungan sudut (*corner joint*),** dipakai untuk penampang tersusun berbentuk kotak yang digunakan untuk kolom atau balok yang menerima pembebanan torsi yang besar.

5. **Sambungan sisi** (*edge joint*), sambungan ini bukan jenis struktural dan digunakan untuk menjaga agar dua atau lebih pelat tidak bergeser satu dengan lainnya.



Gambar 2.19. Tipe-tipe Sambungan las.

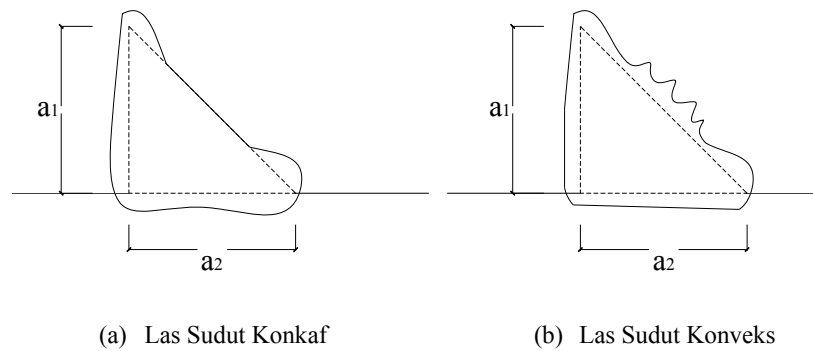
2.7.2.2 Jenis-jenis Las

1. **Las tumpul** (*groove weld*) , las ini dipakai untuk menyambung batang sebidang. Karen alas ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja, maka las ini harus memiliki kekuatan yang sama dengan batang yang disambungnya.
2. **Las sudut** (*fillet weld*), tipe las ini paling banyak dijumpai dibandingkan tipe las yang lain, 80% sambungan las menggunakan tipe las sudut. Tidak memerlukan presisi tinggi dalam pengerjaannya.
3. **Las baji dan pasak** (*slot and plug weld*), jenis las ini biasanya digunakan bersama-sama dengan las sudut. Manfaat utamanya adalah menyalurkan gaya

geser pada sambungan lewatan bila ukuran panjang las terbatas oleh panjang yang tersedia untuk las sudut.

2.7.2.3 Pembatasan Ukuran Las Sudut.

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang a_1 dan a_2 . Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w , ukuran minimum las sudut, ditetapkan dalam tabel berikut ini :



Gambar 2.20. Ukuran Las Sudut

Tabel 2.6. Ukuran Minimum Las Sudut.

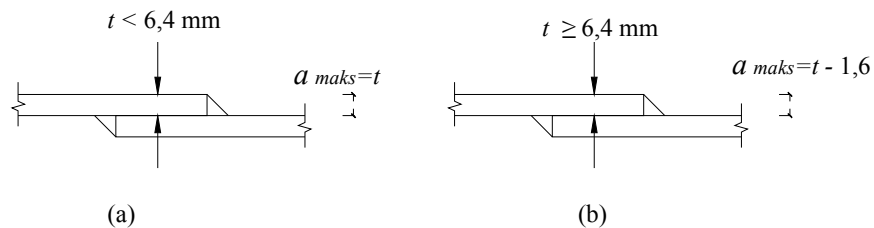
Tebal Pelat (t , mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a , mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t < 15$	5
$15 < t$	6

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal:139*)

Sedangkan pembatasan ukuran maksimum las sudut :

- a. Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen.
- b. Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen.

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh dan paling tidak harus empat kali ukuran las, jika kurang maka las untuk perencanaan dianggap sebesar $\frac{1}{4}$ kali panjang efektif.



Gambar 2.21. Ukuran Maksimum Las.

2.7.2.4 Luas Efektif Las.

Kekuatan dari berbagai jenis las yang telah dibahas di depan didasarkan pada luas efektif las. Luas efektif las sudut dan tumpul adalah hasil perkalian antara tebal efektif (t_e) dengan panjang las.

- a. **Las Tumpul .** Tebal efektif las tumpul penetrasi penuh adalah tebal pelat yang tertipis dari komponen yang disambung. Untuk las tumpul penetrasi sebagian.

b. Las Sudut. Tebal efektif las sudut adalah jarak nominal terkecil dari kemiringan las dengan titik sudut di depannya. Asumsikan bahwa sudut mempunyai ukuran kaki yang sama, a , maka tebal efektif t_e adalah $0,707a$.

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal.136-14*)

2.7.2.5 Tahanan Nominal Sambungan Las.

Filosofi umum dari LRFD terhadap persyaratan keamanan suatu struktur, dalam hal ini terutama untuk las, adalah terpenuhinya persamaan :

$$\phi \cdot R_{nw} \geq R_u \dots\dots\dots(2.7.2.5.1)$$

Dengan :

ϕ : faktor tahanan.

R_{nw} : tahanan nominal per satuan panjang las.

R_u : beban terfaktor persatuan panjang las.

Las Tumpul

Kuat las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut :

a. Bila sambungan dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif, maka :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot f_y \quad (\text{bahan dasar}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.2)$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot f_{yw} \quad (\text{las}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.3)$$

b. Bila sambungan dibebani dengan gaya geser terhadap luas efektif, maka :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_y) \quad (\text{bahan dasar}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.4)$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{yw}) \quad (\text{las}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.5)$$

dengan f_y dan f_u kuat leleh dan kuat tarik putus.

Las Sudut

Kuat rencana per satuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \quad (\text{las}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.6)$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) \quad (\text{bahan dasar}) \dots\dots\dots(2.7.2.5.7)$$

Las Baji dan Pasak

Kuat rencana bagi las baji dan pasak ditentukan :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \cdot A_w \dots\dots\dots(2.7.2.5.8)$$

Dengan :

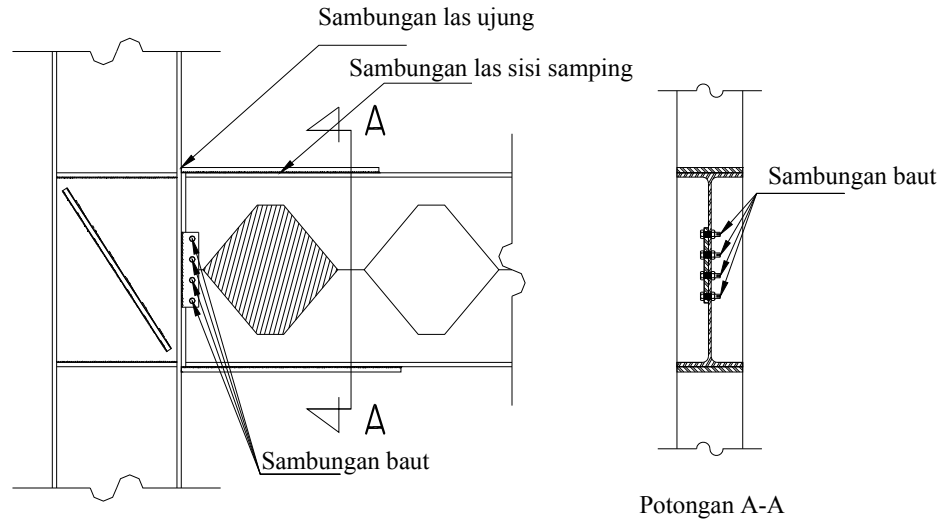
A_w : adalah luas geser efektif las.

f_{uw} : kuat tarik putus logam las.

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, 7.1–7.5*)

2.7.3 Sambungan Balok Kolom

Pada sambungan Balok ke Kolom adalah menjadi tujuan desain untuk membuat tranfer momen secara penuh dan sedikit atau tidak ada rotasi relatif dari batang–batang yang disambungkan tersebut, Pertimbangan desain yang utama adalah pada cara mentranmisikan beban–beban terpusat yang disebabkan gaya flens pada balok ke kolom disebelahnya. Pelat badan mungkin tidak mampu menerima beban tekan dari suatu flens balok tanpa adanya pengaku tambahan, sedangkan flens suatu kolom dapat memiliki deformasi yang berlebihan akibat gaya tarik dari suatu flens balok.

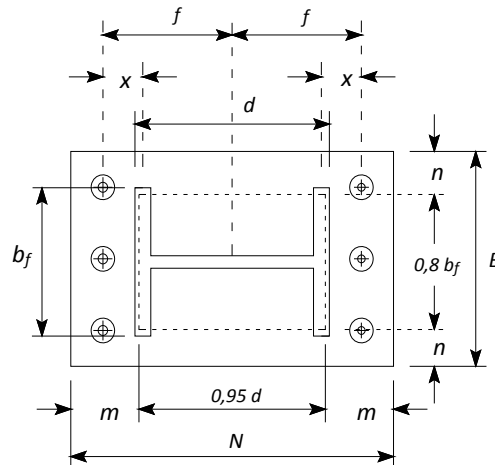


Gambar 2.22. Sambungan Balok ke Kolom dengan baut dan las

2.8 Base Plate / Pelat Dasar

Dalam perencanaan suatu struktur baja , bagian penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah pelat dasar (*base plate*). Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu plat dasar, angkur serta sirip-sirip pengaku (*stiffener*). Suatu sturuktur pelat dasar dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentranfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.

Suatu base plate penahan momen, sesuai konsep *LRFD* harus didesain agar kuat rencana minimal sama atau lebih besar dari pada kuat perlu, yaitu momen lentur (M_u), gaya aksial (P_u), dan gaya geser (V_u) untuk semua macam kombinasi pembebanan yang dipersyaratkan.



Gambar 2.23. Penampang Pelat dasar

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 330*)

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \dots\dots\dots(2.8.1)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.bf)}{2} \dots\dots\dots (2.8.2)$$

$$x = f - \frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \dots\dots\dots(2.8.3)$$

Keterangan :

B : Lebar plat dasar

N : panjang plat dasar

b : lebar sayap/flens kolom

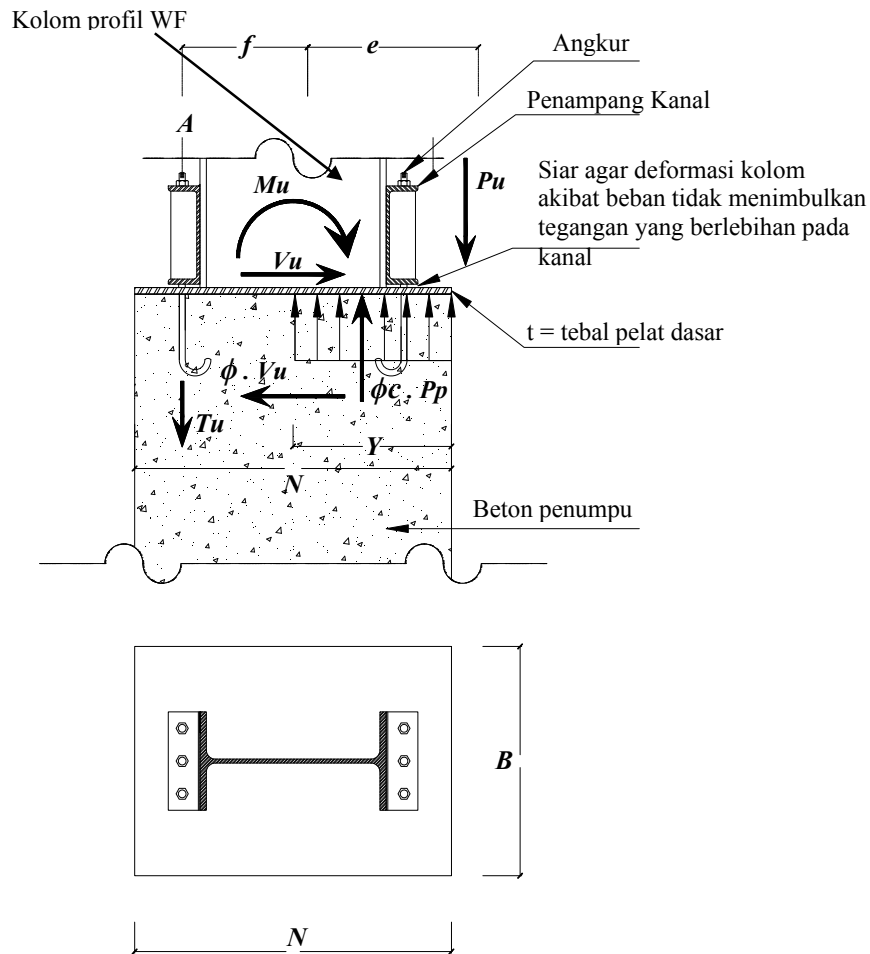
d : tinggi profil kolom

f : jarak angkur kesumbu pelat dasar dan sumbu kolom

Dalam kasus ini eksentrisitas yang terjadi sudah melebihi $N/6$, angkur harus didesain agar dapat menahan gempa *uplift* serta gaya geser yang terjadi. Base plate dalam kondisi inilah yang sering dijumpai dalam perencanaan, terutama untuk portal kakau yang direncanakan untuk memikul gaya gempa lateral atau gaya akibat angin. Pada umumnya desain base plate dalam kondisi ini harus disertai dengan proses desain ukuran angkur yang digunakan.

Dalam kasus ini ada dua variable yang harus dihitung yaitu panjang Y dan gaya tarik pada angkut, T_u . Sebagai penyederhanaan, maka bentuk $\phi_c \cdot P_p$ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_u \leq \phi_c \cdot P_p = P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot B \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = q \cdot Y \dots\dots\dots (2.8.4)$$



Gambar 2.24. Pelat dasar dengan eksentrisitas $e > N/6$

Dengan $P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot B \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (2.8.5)$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \dots\dots\dots (2.8.6)$$

Keterangan :

$$\phi_c : 0,60$$

$$f_c' : \text{ mutu kuat tekan beton, MPa}$$

$$A_1 : \text{ luas penampang baja yang secara konsentris menumpu pada permukaan beton, mm}^2$$

$$A_2 : \text{ luas maksimum bagian permukaan beton yang secara geometris sama dengan dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm}^2$$

Dari persyaratan kesetimbangan, maka jumlah gaya dalam arah vertical harus sama dengan nol, atau dalam bentuk :

$$T_u = q \cdot Y - P_u \dots\dots\dots(2.8.7)$$

Dengan mengambil kesetimbangan momen terhadap titik A :

$$Y = \left(f + \frac{N}{2} \right) \pm \sqrt{\left[- \left(f + \frac{N}{2} \right) \right]^2 - \frac{2P_u(f + e)}{q}} \dots\dots\dots(2.8.8)$$

Untuk menentukan T_u substitusi nilai Y ke persamaan 2.8.7. sedangkan untuk melakukan pemeriksaan hasil, substitusikan kembali nilai Y ke persamaan 2.8.8.

Angkur yang dipasang pada suatu base plate direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik, dan syarat sebagai berikut;

$$V_{ub} \leq \phi \cdot F_v \cdot A_b \dots\dots\dots(2.8.9)$$

$$T_{ub} \leq \phi \cdot F_t \cdot A_b \dots\dots\dots(2.8.10)$$

Untuk angkur tipe A307 :

$$F_t = 407 - 1,9 f_v < 310 \dots\dots\dots (2.8.11)$$

$$F_v = 166 \text{ MPa}$$

Untuk angkur tipe A325 :

$$F_t = 807 - 1,5 f_v < 621 \dots\dots\dots (2.8.12)$$

$$F_v = 414 \text{ MPa}$$

Keterangan :

V_{ub} : gaya geser terfaktor pada angkur, (N)

T_{ub} : gaya tarik terfaktor pada angkur, (N)

ϕ : faktor tahanan pada angkur = (0,75)

F_v : kuat geser nominal angkur, (Mpa)

A_b : luas penampang angkur, (mm²)

F_t : kuat tarik nominal angkur, (Mpa)

f_v : tegangan geser yang terjadi pada angkur = $\frac{V_{ub}}{A_b}$

n : jumlah angkur

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, 13.12–13.21*)

Perhitungan tebal pelat dasar :

$$t_{perlu} \geq 2,11 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot f_y}} \dots\dots\dots(2.8.13)$$

Nilai t_p yang diperoleh dari persamaan 2.8.13, harus dibandingkan dengan nilai t_p dari persamaan berikut, dan kemudian dipilih nilai t_p yang menentukan.

$$Y > m \quad t_{perlu} \geq 1,49 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{P_u}{B \cdot Y \cdot f_y}} \dots\dots\dots(2.8.14)$$

$$Y < m \quad t_{perlu} \leq 2,11 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{P_u \left(m - \frac{Y}{2} \right)}{B \cdot f_y}} \dots\dots\dots(2.8.15)$$

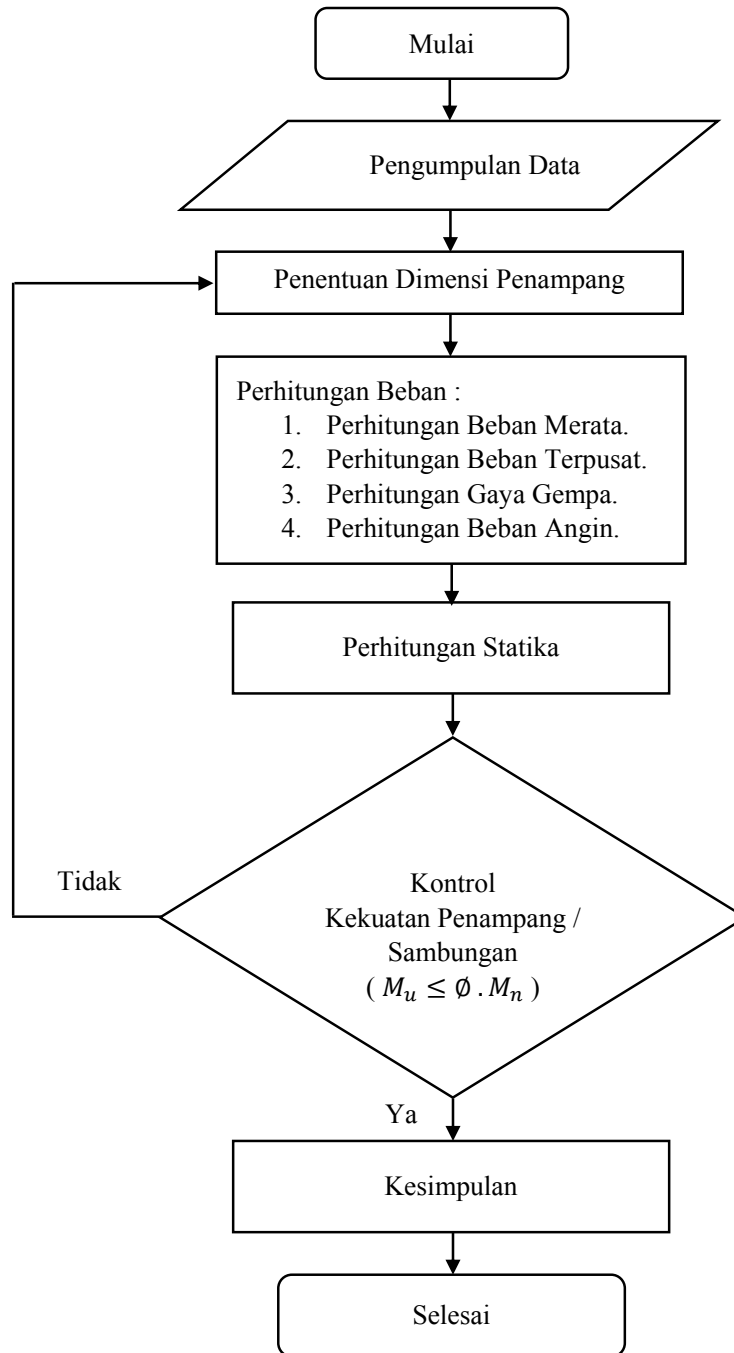
(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, 13.30–13.32*)

BAB III

BAGAN ALIR

3.1 BaganAlir

Bagan alir perencanaan struktur portal baja :



BAB IV

PERHITUNGAN PEMBEBANAN DAN STATIKA KONTRUKSI

4.1. DATA PERENCANAAN

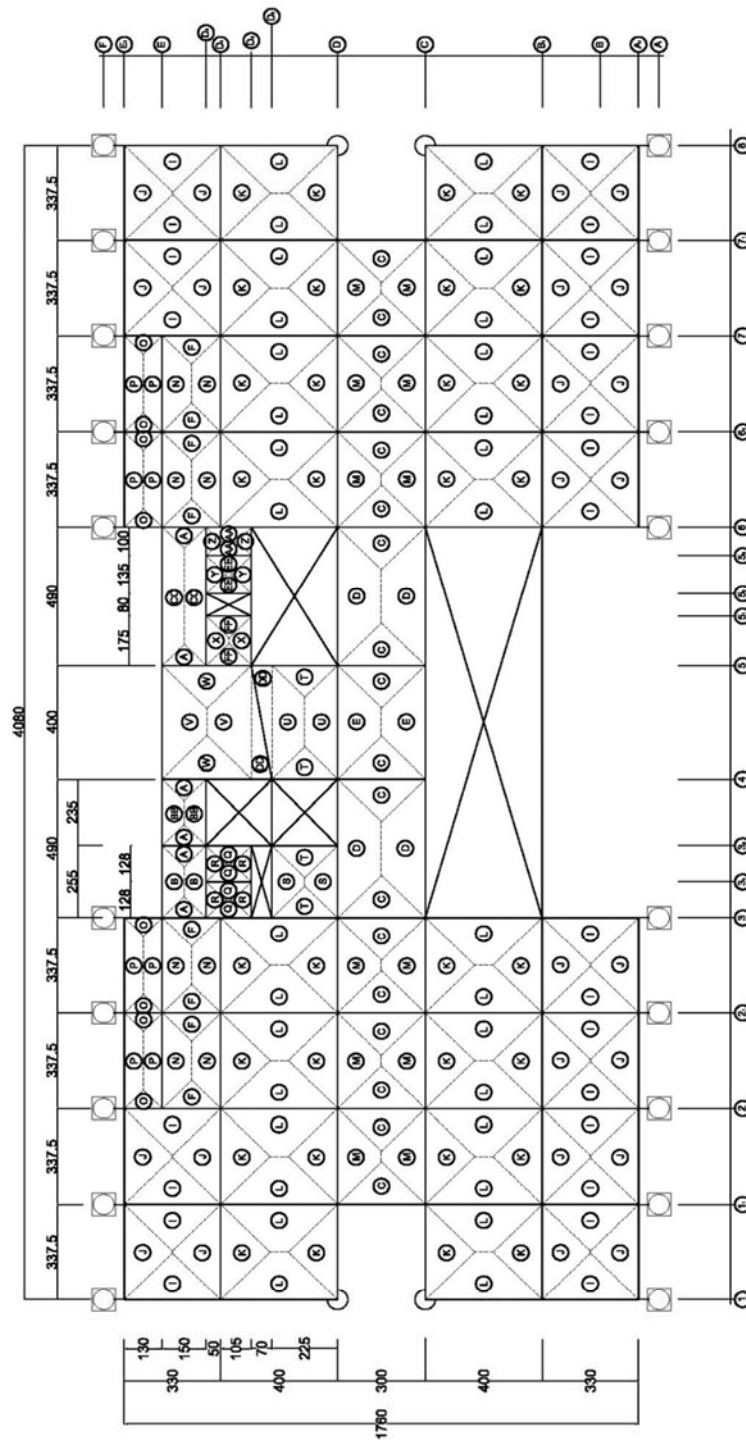
4.1.1. Data Struktur

- Fungsi bangunan : Gedung Pusat Kegiatan
- Jumlah lantai : 7 Lantai
- Tinggi bangunan : 28 m
- Bentang memanjang : 40,8 m
- Bentang Melintang : 19 m

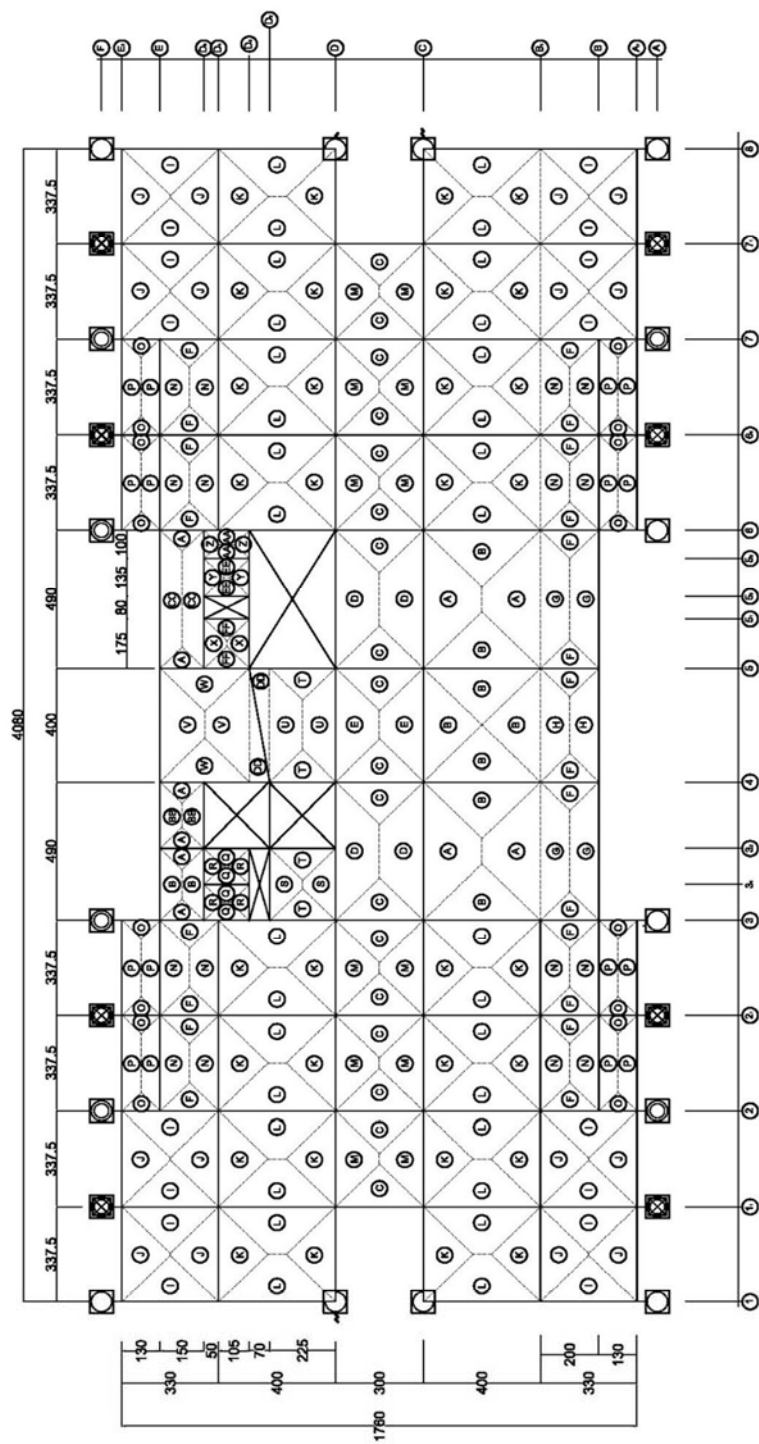
4.1.2. Data Pembebanan.

- Beban hidup lantai 1 s/d 7 : 250 kg/m²
- Beban hidup atap : 100 kg/m²
- Beban angin : 25 kg/m²
- Berat spesi : 21 kg/m²/cm tebal
- Berat tegel : 24 kg/m²/cm tebal
- Berat dinding pasangan batu merah : 250 kg/m²
- Berat jenis beton : 2400 kg/m³
- Berat jenis air hujan : 100 kg/m²
- Berat plafond : 11 kg/m²
- Berat penggantung : 7 kg/m²
- Berat jenis baja : 7850 kg/m³

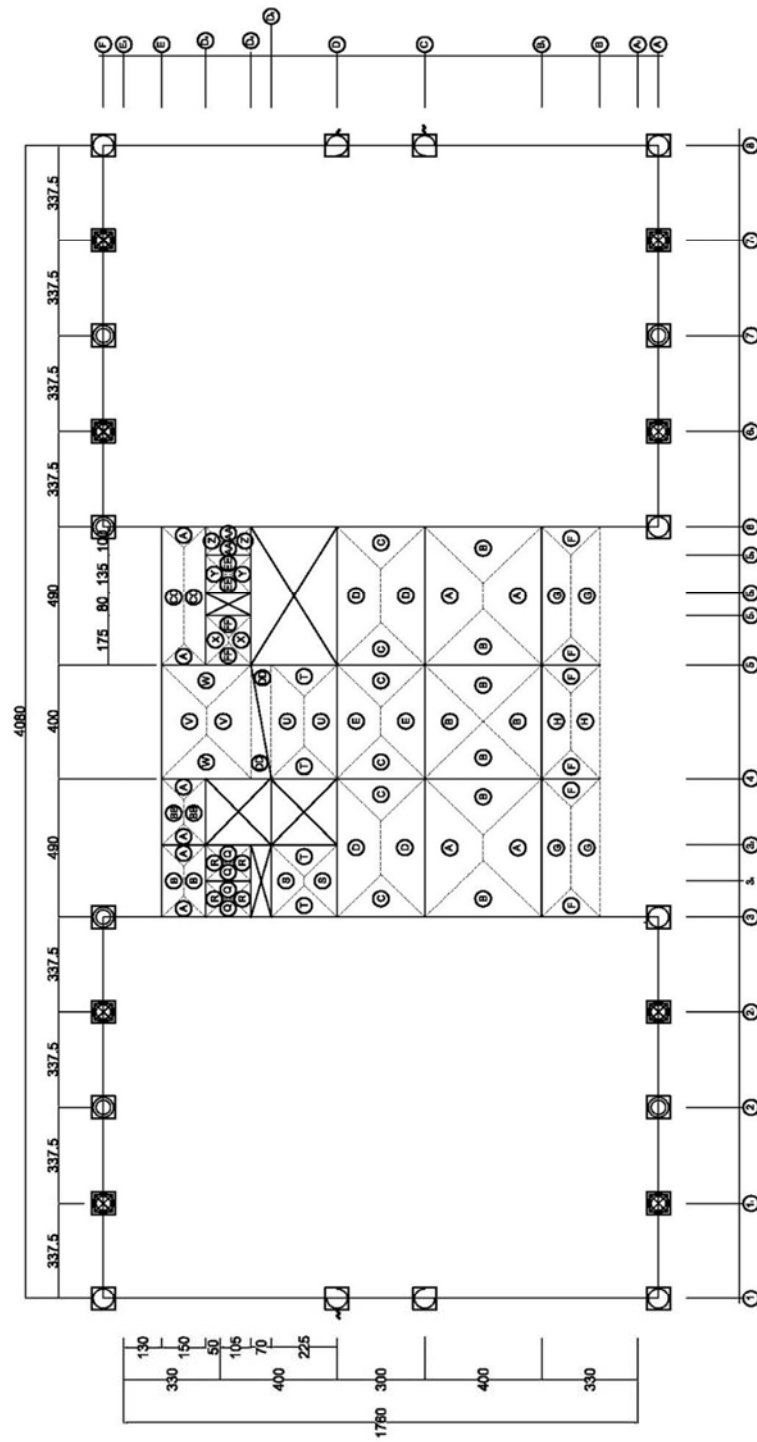
4.1.4. Perhitungan Perataan Beban.



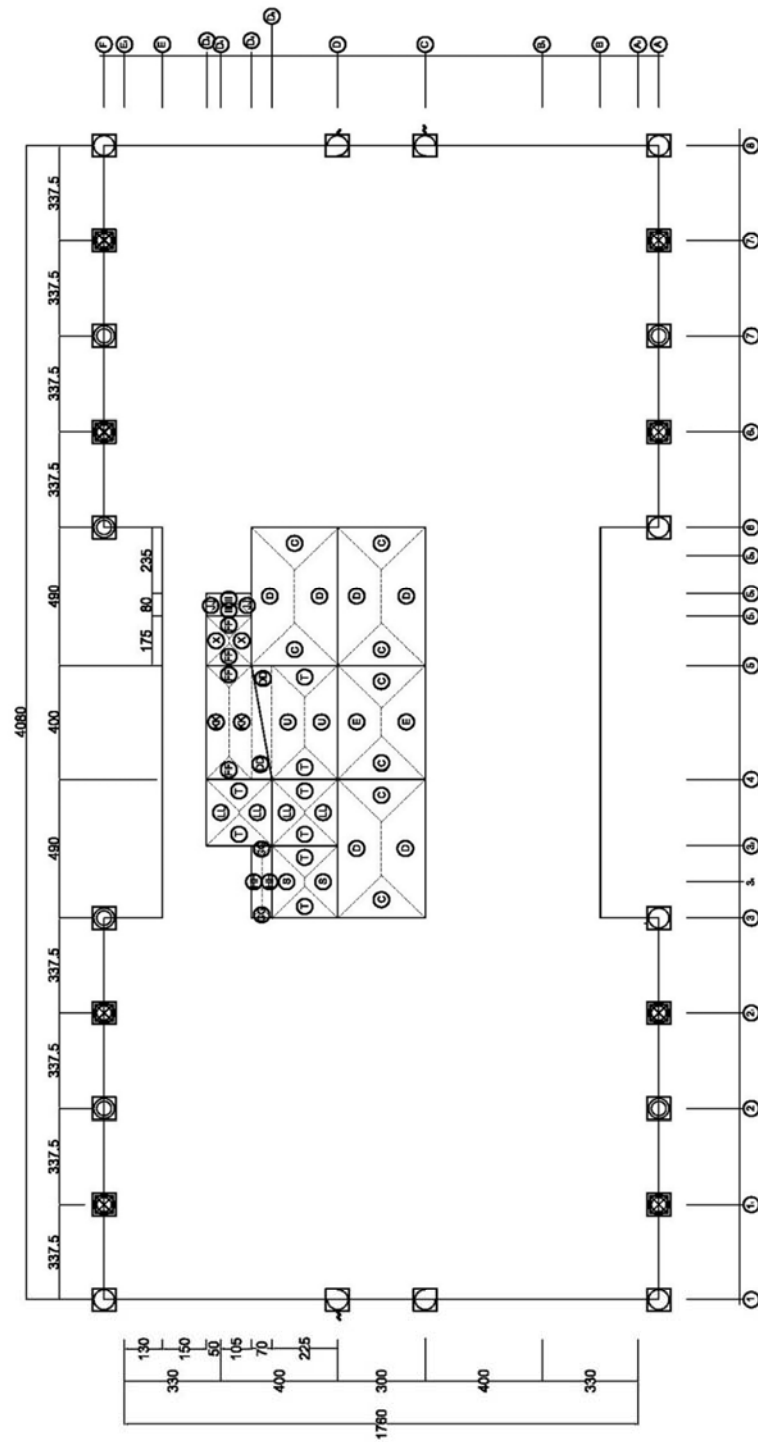
Gambar 4.1 : Perataan Beban Plat Lantai 2



Gambar 4.2 : Perataan Beban Plat Lantai 3, 4, 5 dan 6

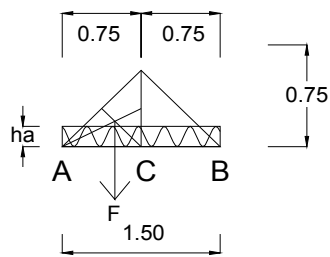


Gambar 4.3 : Perataan Beban Plat Lantai 7



Gambar 4.4 : Perataan Beban Plat Atap

• **Tipe A**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,281$$

$$RA = F = 0,281$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 0,75 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,75 \right)$$

$$= 0 \cdot 0,75 - 0,281 \left(0,25 \right)$$

$$= 0,141$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot ha \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot ha \cdot 1,5^2$$

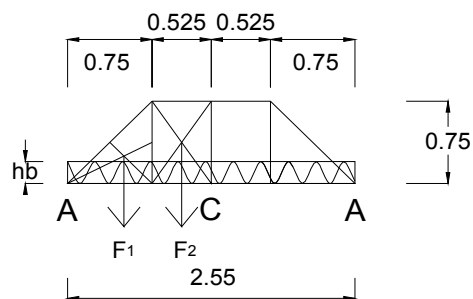
$$= 0,281 \cdot ha$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,281 \cdot ha = 0,141$$

$$ha = 0,5 \text{ m} < 0,75 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe B**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,281$$

$$F2 = 0,525 \cdot 0,75 = 0,394$$

$$RA = F1 + F2 = 0,281 + 0,394 = 1$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 1,275 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,75 \right) + 0,525 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,525 \right) \\
 &= 1 \cdot 1,275 - 0 \left[0,775 \right] - 0 \left(0,263 \right) \\
 &= 0,539
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

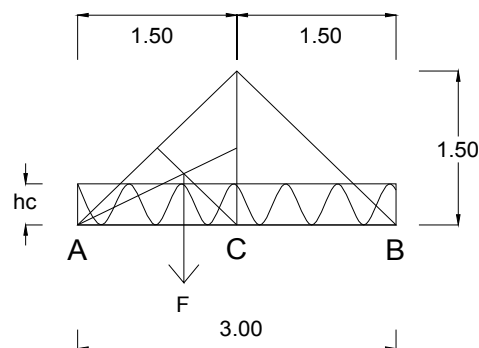
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot hb \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot hb \cdot 2,55^2 \\
 &= 0,813 \cdot hb
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,813 \cdot hb = 0,539$$

$$hb = 0,663 \text{ m} < 0,75 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe C



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 1,125$$

$$RA = F = 1,125$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 1,5 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1,5 \right) \\
 &= 1,125 \cdot 1,5 - 1,125 \left(0,5 \right) \\
 &= 1,125
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

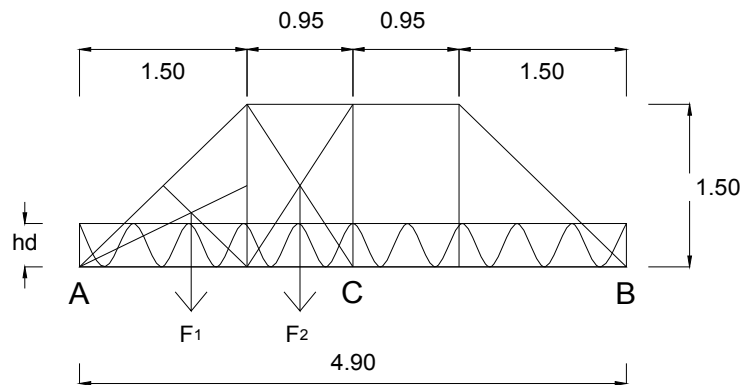
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot hc \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot hc \cdot 3^2 \\
 &= 1,125 \cdot hc
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,125 \text{ hc} = 1,125$$

$$hc = 1,000 \text{ m} < 1,5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe D**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 1,125$$

$$F2 = 0,95 \cdot 1,50 = 1,425$$

$$RA = F1 + F2 = 1,125 + 1,425 = 3$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$\begin{aligned} &= RA \cdot 2,45 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,50 \right) + 0,95 \right] \\ &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,95 \right) \\ &= 3 \cdot 2,45 - 1,125 \left[1,45 \right] \\ &\quad - 1,425 \left(0,475 \right) \\ &= 3,939 \end{aligned}$$

$$M_{max2} = MC2$$

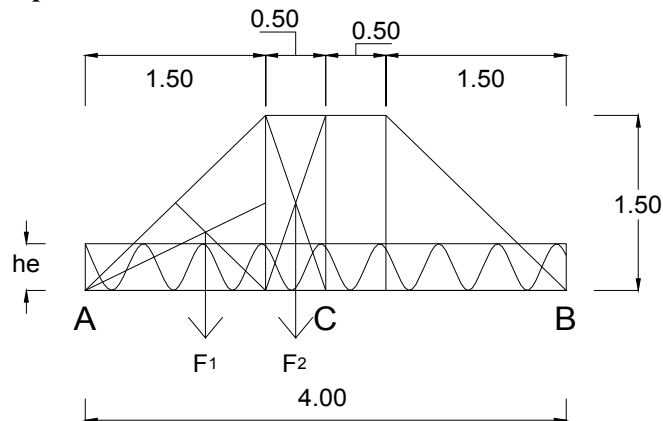
$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8} \cdot hd \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot hd \cdot 4,9^2 \\ &= 3,001 \text{ hd} \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$3,001 \text{ hd} = 3,939$$

$$hd = 1,313 \text{ m} < 1,5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe E**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 1,125$$

$$F2 = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75$$

$$RA = F1 + F2 = 1,125 + 0,75 = 2$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$\begin{aligned} &= RA \cdot 2,45 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,5 \right) + 0,5 \right] \\ &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,5 \right) \\ &= 2 \cdot 2,45 - 1,125 \left[1 \right] \\ &\quad - 0,75 \left(0,25 \right) \\ &= 3,281 \end{aligned}$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8} \cdot he \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot he \cdot 4^2 \\ &= 2 \cdot he \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$2 \cdot he = 3,281$$

$$he = 1,641 \text{ m} < 2 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe F**

$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$$

$$RA = F = 0,5$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \right)$$

$$= 1 \cdot 1 - 0,5 \cdot (0,333)$$

$$= 0,333$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_f \cdot L^2$$

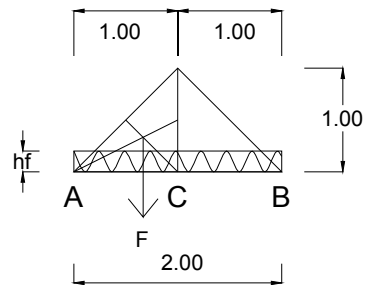
$$= \frac{1}{8} \cdot h_f \cdot 2^2$$

$$= 0,5 \cdot h_f$$

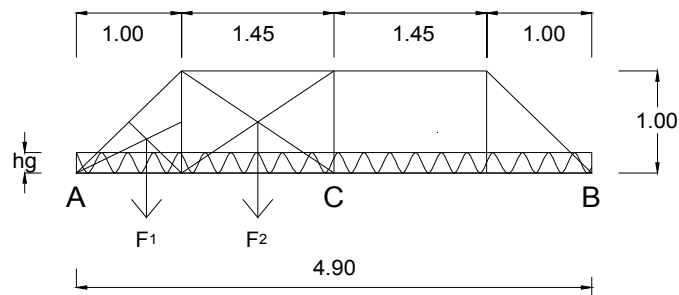
$$MC2 = MC1$$

$$0,5 \cdot h_f = 0,333$$

$$h_f = 0,667 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$



• Tipe G



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$$

$$F2 = 1,45 \cdot 1 = 1,45$$

$$RA = F1 + F2 = 0,5 + 1,45 = 2$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 2,45 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1 \right) + 1,45 \right]$$

$$\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,45 \right)$$

$$= 2 \cdot 2,45 - 0,5 \left[1,783 \right]$$

$$\quad - 1,45 \left(0,725 \right)$$

$$= 2,835$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_g \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_g \cdot 4,9^2$$

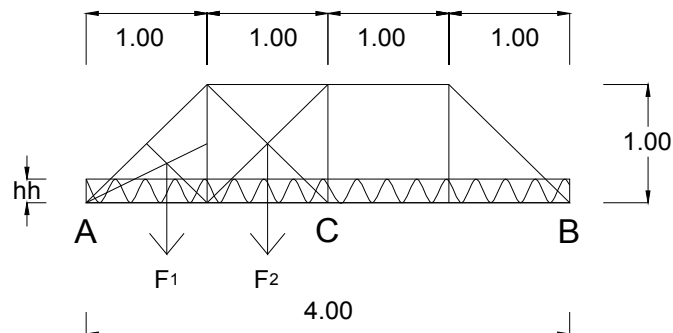
$$= 3,001 \cdot h_g$$

$$MC2 = MC1$$

$$3,001 \text{ hg} = 2,835$$

$$hg = 0,944 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe H



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$$

$$F2 = 1 \cdot 1 = 1$$

$$RA = F1 + F2 = 0,5 + 1 = 1,5$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$\begin{aligned} &= RA \cdot 2 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1 \right) + 1 \right] \\ &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \right) \\ &= 1,5 \cdot 2 - 0,5 [1,333] \\ &\quad - 1 (0,5) \\ &= 1,833 \end{aligned}$$

$$M_{max2} = MC2$$

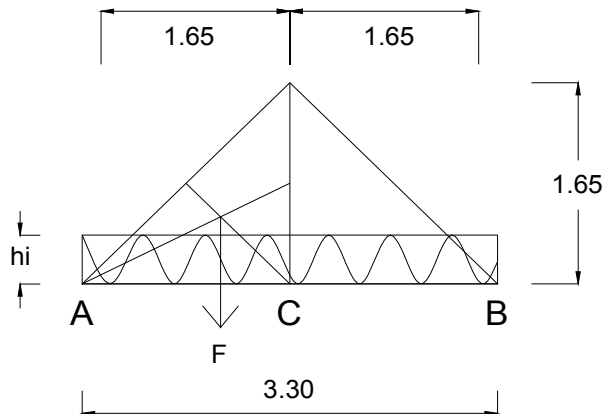
$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8} \cdot hh \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot hh \cdot 4^2 \\ &= 2 \cdot hh \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$2 \cdot hh = 1,833$$

$$hh = 0,917 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe I**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,65 \cdot 1,65 = 1,361$$

$$RA = F = 1,361$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,65 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1,65 \right)$$

$$= 1 \cdot 1,65 - 1,361 \left(0,55 \right)$$

$$= 1,497$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hi \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hi \cdot 3,3^2$$

$$= 1,361 \cdot hi$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,361 \cdot hi = 1,497$$

$$hi = 1,100 \text{ m} < 1,65 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe J**

$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,65 \cdot 1,65 = 1,361$$

$$F2 = 0,038 \cdot 1,65 = 0,063$$

$$RA = F1 + F2 = 1,361 + 0,063 = 1,424$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,688 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,65 \right) + 0,038 \right]$$

$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,65 \cdot 1,65 = 1,361$$

$$RA = F = 1,361$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,5 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1,68 \right)$$

$$= 1,361 \cdot 1,5 - 1,361 \left(0,56 \right)$$

$$= 1,28$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hk \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hk \cdot 3,37^2$$

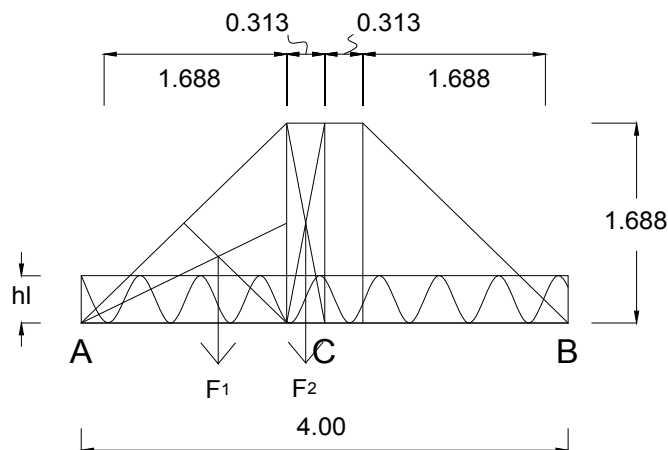
$$= 1,42 \cdot hk$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,42 \cdot hk = 1,28$$

$$hk = 0,901 \text{ m} < 1,65 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe L



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,68 \cdot 1,68 = 1,411$$

$$F2 = 0,313 \cdot 1,68 = 0,526$$

$$RA = F1 + F2 = 1,411 + 0,526 = 1,937$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 2 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,68 \right) + 0,313 \right]$$

$$- F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,313 \right)$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_m \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_m \cdot 3,375^2$$

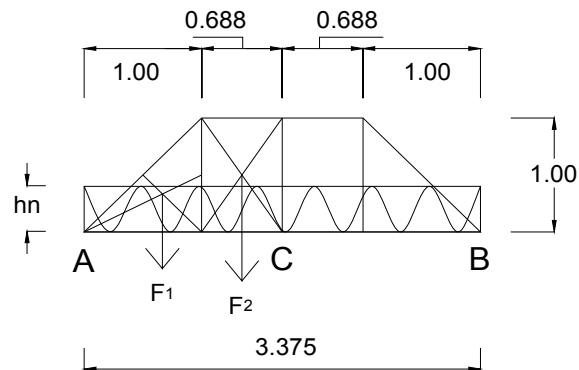
$$= 1,424 \cdot h_m$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,424 \cdot h_m = 1,574$$

$$h_m = 1,105 \text{ m} < 1,5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe N



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$$

$$F2 = 0,688 \cdot 1 = 0,688$$

$$RA = F1 + F2 = 0,5 + 0,688 = 1,188$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,688 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1 \right) + 0,688 \right]$$

$$- F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,688 \right)$$

$$= 1,188 \cdot 1,688 - 0,5 \left[1,021 \right]$$

$$- 0,688 \left(0,344 \right)$$

$$= 1,257$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_n \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_n \cdot 3,37^2$$

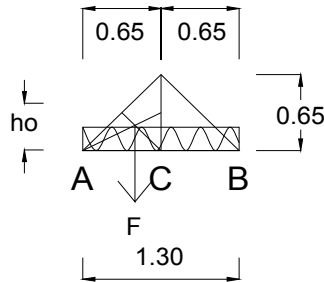
$$= 1,420 \cdot h_n$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,42 \text{ hn} = 1,257$$

$$\text{hn} = 0,886 \text{ m} < 1,00 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe O**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,65 \cdot 0,65 = 0,211$$

$$RA = F = 0,211$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 0,65 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,65 \right)$$

$$= 0,211 \cdot 0,65 - 0,211 \left(0,217 \right)$$

$$= 0,092$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_o \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_o \cdot 1,3^2$$

$$= 0,211 \cdot h_o$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,211 \cdot h_o = 0,092$$

$$h_o = 0,433 \text{ m} < 0,65 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe P**

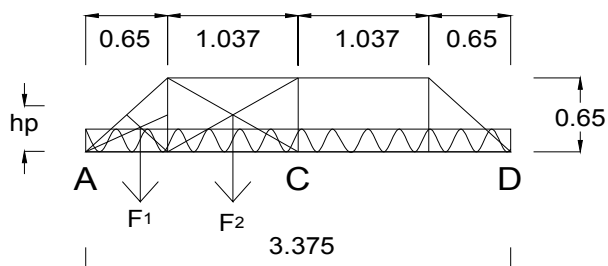
$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,65 \cdot 0,65 = 0,211$$

$$F2 = 1,037 \cdot 0,65 = 0,674$$

$$RA = F1 + F2 = 0,211 + 0,674 = 0,885$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 1,688 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,65 \right) + 1,037 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,037 \right) \\
 &= 0,885 \cdot 1,688 - 0,211 \left[1,254 \right] \\
 &\quad - 0,674 \left(0,519 \right) \\
 &= 0,88
 \end{aligned}$$



$$M_{\max 2} = MC2$$

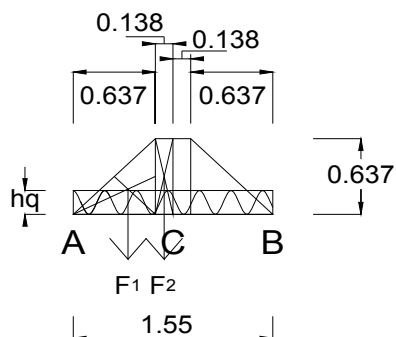
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot hp \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot hp \cdot 3,375^2 \\
 &= 1,424 \cdot hp
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$1,424 \cdot hp = 0,88$$

$$hp = 0,618 \text{ m} < 0,65 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe Q



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,635 \cdot 0,635 = 0,202$$

$$F2 = 0,138 \cdot 0,637 = 0,088$$

$$R_A = F_1 + F_2 = 0,202 + 0,088 = 0,29$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= R_A \cdot 0,776 - F_1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,635 \right) + 0,138 \right] \\
 &\quad - F_2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,138 \right) \\
 &= 0,29 \cdot 0,776 - 0,202 \left[0,35 \right] \\
 &\quad - 0,088 \left(0,069 \right) \\
 &= 0,148
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

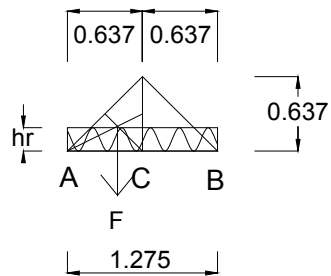
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot h_q \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h_q \cdot 1,55^2 \\
 &= 0,300 \cdot h_q
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,3 \cdot h_q = 0,148$$

$$h_q = 0,493 \text{ m} < 0,635 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Típe R



$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,637 \cdot 0,637 = 0,203$$

$$R_A = F = 0,203$$

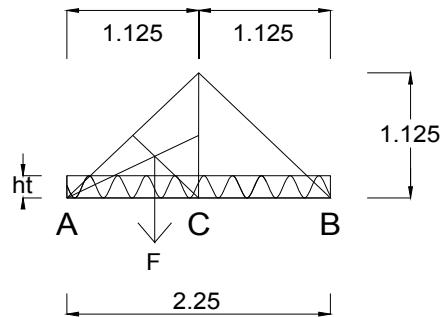
$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= R_A \cdot 0,638 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,637 \right) \\
 &= 0,203 \cdot 0,638 - 0,203 \left(0,212 \right) \\
 &= 0,086
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot h_r \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h_r \cdot 1,28^2
 \end{aligned}$$

• **Tipe T**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,125 \cdot 1,125 = 0,633$$

$$RA = F = 0,633$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,125 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1,125 \right)$$

$$= 0,633 \cdot 1,125 - 0,633 \left(0,375 \right)$$

$$= 0,475$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot ht \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot ht \cdot 2,25^2$$

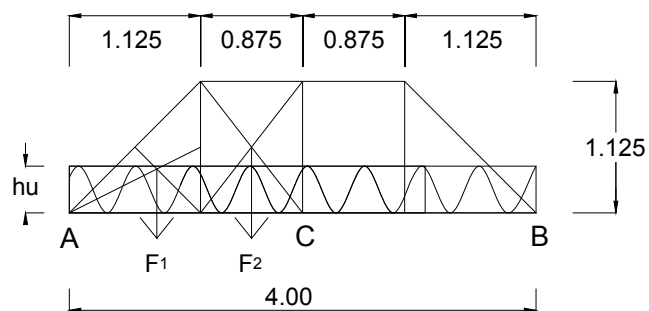
$$= 0,633 \cdot ht$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,633 \cdot ht = 0,475$$

$$ht = 0,750 \text{ m} < 1,125, \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe U**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,125 \cdot 1,125 = 0,633$$

$$F2 = 0,875 \cdot 1,125 = 0,984$$

$$RA = F1 + F2 = 0,633 + 0,984 = 1,617$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 2 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,125 \right) + 0,875 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,875 \right) \\
 &= 1,617 \cdot 2 - 0,633 \left[1,25 \right] \\
 &\quad - 0,984 \left(0,438 \right) \\
 &= 2,013
 \end{aligned}$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hu \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hu \cdot 4^2$$

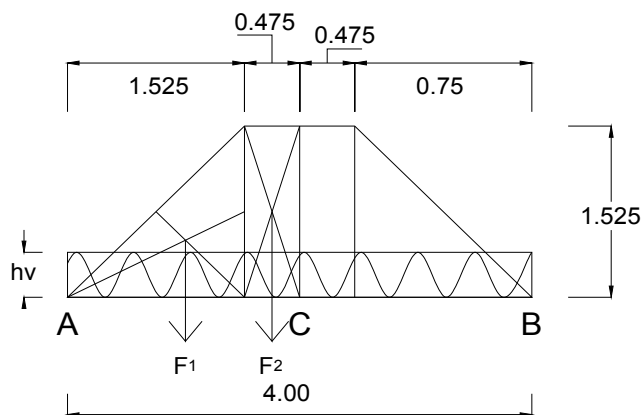
$$= 2,000 \cdot hu$$

$$MC2 = MC1$$

$$2,000 \cdot hu = 2,013$$

$$hu = 1,006 \text{ m} < 1,125 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe V



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,525 \cdot 1,525 = 1,163$$

$$F2 = 0,475 \cdot 1,125 = 0,534$$

$$RA = F1 + F2 = 1,163 + 0,534 = 1,697$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 2 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,525 \right) + 0,475 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,475 \right) \\
 &= 1,697 \cdot 2 - 1,163 \left[0,983 \right] \\
 &\quad - 0,534 \left(0,238 \right) \\
 &= 2,124
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

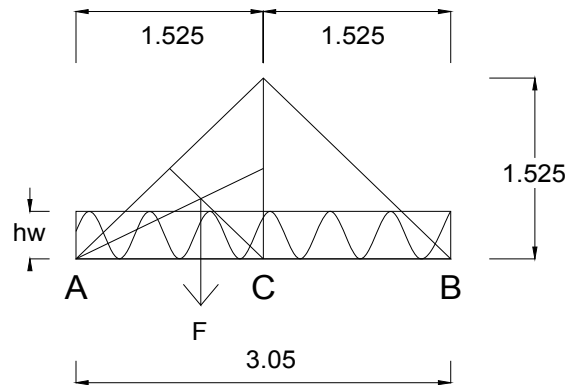
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot h_v \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h_v \cdot 4^2 \\
 &= 2,000 \cdot h_v
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$2,000 \cdot h_v = 2,124$$

$$h_v = 1,062 \text{ m} < 1,525 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe W



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,525 \cdot 1,525 = 1,163$$

$$RA = F = 1,163$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 1,525 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 1,525 \right) \\
 &= 1,163 \cdot 1,525 - 1,163 \left(0,508 \right) \\
 &= 1,182
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot h_w \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h_w \cdot 3,05^2
 \end{aligned}$$

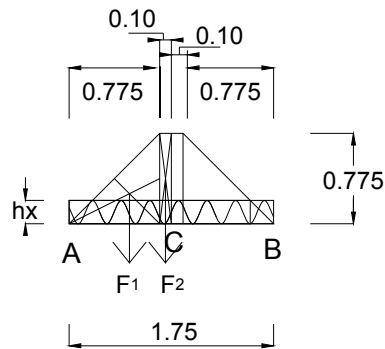
$$= 1,163 \text{ hw}$$

MC2 = MC1

1,163 hw = 1,182

hw = 1,017 m < 1,525, m ok

- **Tipe X**



$$\mathbf{F1} = \frac{1}{2} \cdot 0,775 \cdot 0,775 = 0,300$$

$$\mathbf{F2} = 0,10 \cdot 0,775 = 0,078$$

$$\mathbf{RA} = \mathbf{F1} + \mathbf{F2} = 0,3 + 0,078 = 0,378$$

$$\mathbf{M}_{\max 1} = \mathbf{MC1}$$

$$= \text{RA} \cdot 0,875 - \text{F1} \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,775 \right) + 0,10 \right]$$

- F2 ($\frac{1}{2}$, 0,1)

$$= 0,378 \cdot 0,875 - 0,3 \quad [\quad 0,358 \quad]$$

- 0,078 (0,05)

$$= 0,219$$

Mmax2= MC2

$$= \frac{1}{8} \cdot \hbar x \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot \ln x \cdot 1,75^2$$

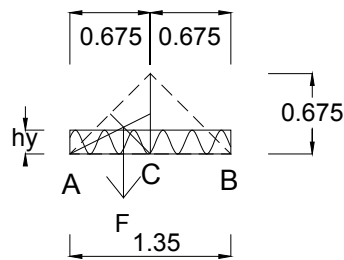
$$= 0,383 \quad \text{hx}$$

MC2 = MC1

$$0,383 \quad \text{hx} = 0,219$$

hx = 0,572 m < 0,775 m ok

• **Tipe Y**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,675 \cdot 0,675 = 0,228$$

$$RA = F = 0,228$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 0,675 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,675 \right)$$

$$= 0,228 \cdot 0,675 - 0,228 \left(0,225 \right)$$

$$= 0,103$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hy \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hy \cdot 1,35^2$$

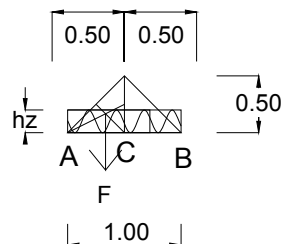
$$= 0,228 \cdot hy$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,228 \cdot hy = 0,103$$

$$hy = 0,450 \text{ m} < 0,675 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe Z**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,50 \cdot 0,50 = 0,125$$

$$RA = F = 0,125$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 0,5 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,5 \right)$$

$$= 0,125 \cdot 0,5 - 0,125 \left(0,167 \right)$$

$$= 0,042$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hz \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hz \cdot 1,^2$$

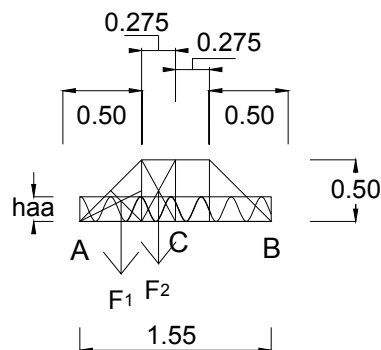
$$= 0,125 \cdot hz$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,125 \cdot hz = 0,042$$

$$hz = 0,333 \text{ m} < 0,50 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe AA



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,50 \cdot 0,50 = 0,125$$

$$F2 = 0,275 \cdot 0,50 = 0,138$$

$$RA = F1 + F2 = 0,125 + 0,138 = 0,263$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 0,775 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,50 \right) + 0,275 \right]$$

$$- F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,275 \right)$$

$$= 0,263 \cdot 0,775 - 0,125 \left[0,442 \right]$$

$$- 0,138 \left(0,138 \right)$$

$$= 0,129$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot haa \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot haa \cdot 1,55^2$$

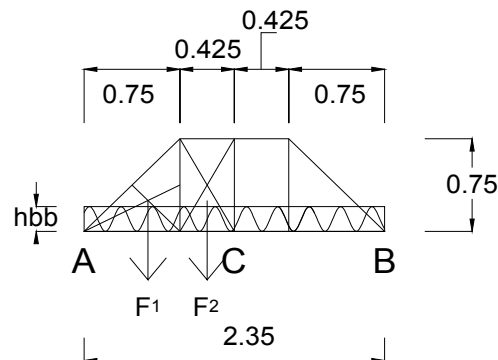
$$= 0,300 \cdot haa$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,3 \cdot haa = 0,129$$

$$haa = 0,431 \text{ m} < 0,50 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe BB



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,281$$

$$F2 = 0,425 \cdot 0,75 = 0,319$$

$$RA = F1 + F2 = 0,281 + 0,319 = 0,6$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$= RA \cdot 1,175 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,75 \right) + 0,425 \right]$$

$$- F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,425 \right)$$

$$= 0,6 \cdot 1,175 - 0,281 \left[0,675 \right]$$

$$- 0,319 \left(0,213 \right)$$

$$= 0,447$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hbb \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hbb \cdot 2,35^2$$

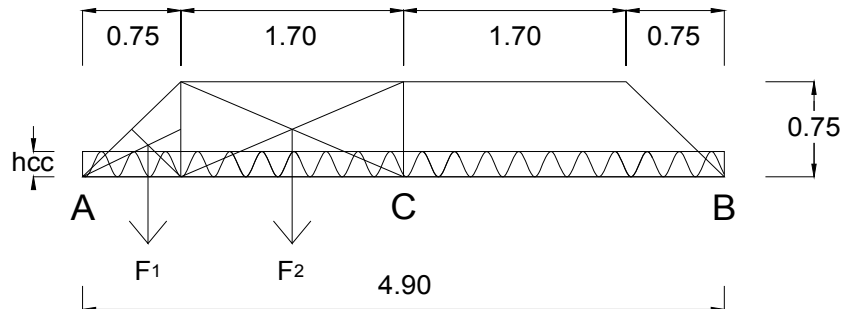
$$= 0,690 \cdot hbb$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,69 \text{ hbb} = 0,447$$

$$hbb = 0,648 \text{ m} < 0,75 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe CC**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,281$$

$$F2 = 1,700 \cdot 0,75 = 1,275$$

$$RA = F1 + F2 = 0,281 + 1,275 = 1,556$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$\begin{aligned} &= RA \cdot 2,45 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,75 \right) + 1,70 \right] \\ &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,70 \right) \\ &= 1,556 \cdot 2,45 - 0,281 \left[1,95 \right] \\ &\quad - 1,275 \left(0,85 \right) \\ &= 2,181 \end{aligned}$$

$$M_{max2} = MC2$$

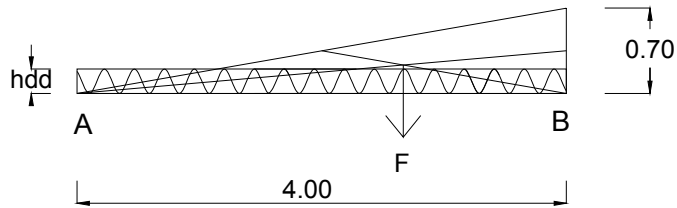
$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8} \cdot hcc \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot hcc \cdot 4,90^2 \\ &= 3,001 \cdot hcc \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$3,001 \text{ hcc} = 2,181$$

$$hcc = 0,727 \text{ m} < 0,75 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe DD**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 4,00 \cdot 0,70 = 1,4$$

$$RA = F = 1,4$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 2 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 4 \right)$$

$$= 1,4 \cdot 2 - 1,4 \left(1,333 \right)$$

$$= 0,933$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hdd \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hdd \cdot 4^2$$

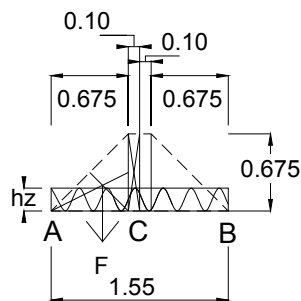
$$= 2 \cdot hdd$$

$$MC2 = MC1$$

$$2 \cdot hdd = 0,933$$

$$hdd = 0,467 \text{ m} < 0,70 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• **Tipe EE**



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,68 \cdot 0,68 = 0,228$$

$$F2 = 0,10 \cdot 0,75 = 0,075$$

$$RA = F1 + F2 = 0,228 + 0,075 = 0,303$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 0,775 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,68 \right) + 0,10 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,10 \right) \\
 &= 0,303 \cdot 0,775 - 0,228 \left[0,325 \right] \\
 &\quad - 0,075 \left(0,05 \right) \\
 &= 0,157
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

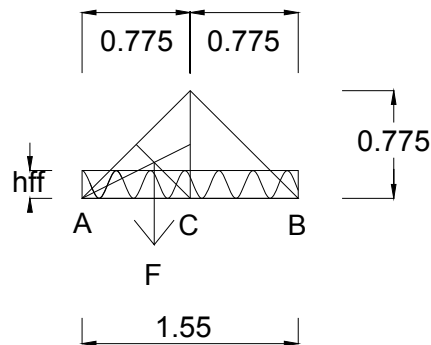
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot hee \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot hee \cdot 1,55^2 \\
 &= 0,300 \cdot hee
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,3 \cdot hee = 0,157$$

$$hee = 0,522 \text{ m} < 0,68 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe FF



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,775 \cdot 0,775 = 0,3$$

$$RA = F = 0,3$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 0,775 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,775 \right) \\
 &= 0,3 \cdot 0,775 - 0,3 \left(0,258 \right) \\
 &= 0,155
 \end{aligned}$$

$$M_{\max 2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot hff \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{ff} \cdot 1,55^2$$

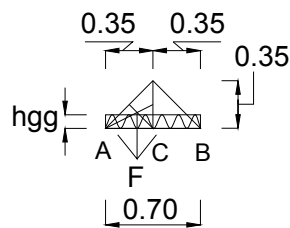
$$= 0,3 \cdot h_{ff}$$

$$\mathbf{MC2 = MC1}$$

$$0,3 \cdot h_{ff} = 0,155$$

$$\mathbf{h_{ff} = 0,517 \text{ m} < 0,775 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}}$$

• **Tipe GG**



$$\mathbf{F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,350 \cdot 0,350 = 0,061}$$

$$\mathbf{RA = F = 0,061}$$

$$\mathbf{M_{max1} = MC1}$$

$$= RA \cdot 0,35 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,35 \right)$$

$$= 0,061 \cdot 0,35 - 0,061 \left(0,117 \right)$$

$$= 0,014$$

$$\mathbf{M_{max2} = MC2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{gg} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{gg} \cdot 0,70^2$$

$$= 0,061 \cdot h_{gg}$$

$$\mathbf{MC2 = MC1}$$

$$0,061 \cdot h_{gg} = 0,014$$

$$\mathbf{h_{gg} = 0,233 \text{ m} < 0,350 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}}$$

• **Tipe HH**

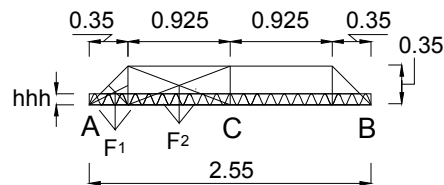
$$\mathbf{F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,35 \cdot 0,35 = 0,061}$$

$$\mathbf{F2 = 0,925 \cdot 0,35 = 0,324}$$

$$\mathbf{RA = F1 + F2 = 0,061 + 0,324 = 0,385}$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 1,275 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,35 \right) + 0,925 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,925 \right) \\
 &= 0,385 \cdot 1,275 - 0,061 \left[1,042 \right] \\
 &\quad - 0,324 \left(0,463 \right) \\
 &= 0,277
 \end{aligned}$$



$$M_{\max 2} = MC2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot hhh \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot hhh \cdot 2,55^2 \\
 &= 0,813 \cdot hhh
 \end{aligned}$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,813 \cdot hhh = 0,277$$

$$hhh = 0,341 \text{ m} < 0,35 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe II

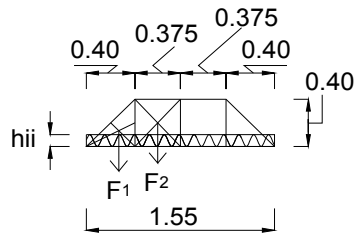
$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,40 \cdot 0,40 = 0,080$$

$$F2 = 0,375 \cdot 0,40 = 0,15$$

$$RA = F1 + F2 = 0,08 + 0,15 = 0,23$$

$$M_{\max 1} = MC1$$

$$\begin{aligned}
 &= RA \cdot 0,775 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,40 \right) + 0,38 \right] \\
 &\quad - F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,38 \right) \\
 &= 0,23 \cdot 0,775 - 0,08 \left[0,508 \right] \\
 &\quad - 0,15 \left(0,188 \right) \\
 &= 0,109
 \end{aligned}$$



$$M_{\max 2} = M_{C2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{ii} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{ii} \cdot 1,55^2$$

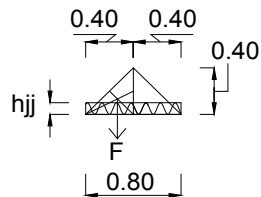
$$= 0,300 \cdot h_{ii}$$

$$M_{C2} = M_{C1}$$

$$0,3 \cdot h_{ii} = 0,109$$

$$h_{ii} = 0,364 \text{ m} < 0,40 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe JJ



$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,40 \cdot 0,40 = 0,08$$

$$R_A = F = 0,08$$

$$M_{\max 1} = M_{C1}$$

$$= R_A \cdot 0,4 - F \left(\frac{1}{3} \cdot 0,4 \right)$$

$$= 0,08 \cdot 0,4 - 0,08 \left(0,133 \right)$$

$$= 0,021$$

$$M_{\max 2} = M_{C2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{jj} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{jj} \cdot 0,80^2$$

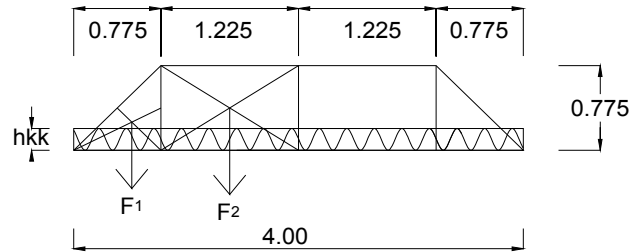
$$= 0,08 \cdot h_{jj}$$

$$MC2 = MC1$$

$$0,08 \quad h_{jj} = 0,021$$

$$h_{jj} = 0,267 \text{ m} < 0,40 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe KK



$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 0,775 \cdot 0,775 = 0,300$$

$$F2 = 1,225 \cdot 0,775 = 0,949$$

$$RA = F1 + F2 = 0,3 + 0,949 = 1,25$$

$$M_{max1} = MC1$$

$$= RA \cdot 2 - F1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 0,775 \right) + 1,225 \right]$$

$$- F2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,23 \right)$$

$$= 1,25 \cdot 2 - 0,3 \left[1,483 \right]$$

$$- 0,949 \left(0,613 \right)$$

$$= 1,472$$

$$M_{max2} = MC2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{kk} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot h_{kk} \cdot 4,00^2$$

$$= 2,000 \quad h_{kk}$$

$$MC2 = MC1$$

$$2 \quad h_{kk} = 1,472$$

$$h_{kk} = 0,736 \text{ m} < 0,775 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

• Tipe LL

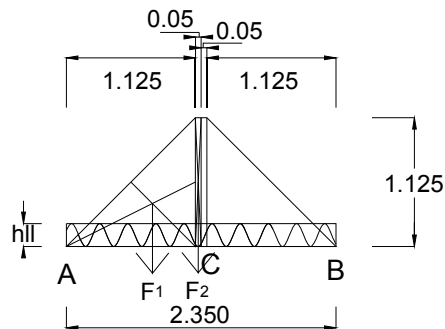
$$F1 = \frac{1}{2} \cdot 1,125 \cdot 1,125 = 0,633$$

$$F2 = 0,050 \cdot 1,125 = 0,056$$

$$R_A = F_1 + F_2 = 0,633 + 0,056 = 0,689$$

$$M_{\max 1} = M_{C1}$$

$$\begin{aligned}
 &= R_A \cdot 1,175 - F_1 \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 1,125 \right) + 0,050 \right] \\
 &\quad - F_2 \left(\frac{1}{2} \cdot 0,05 \right) \\
 &= 0,689 \cdot 1,175 - 0,633 \left[0,425 \right] \\
 &\quad - 0,056 \left(0,025 \right) \\
 &= 0,539
 \end{aligned}$$



$$M_{\max 2} = M_{C2}$$

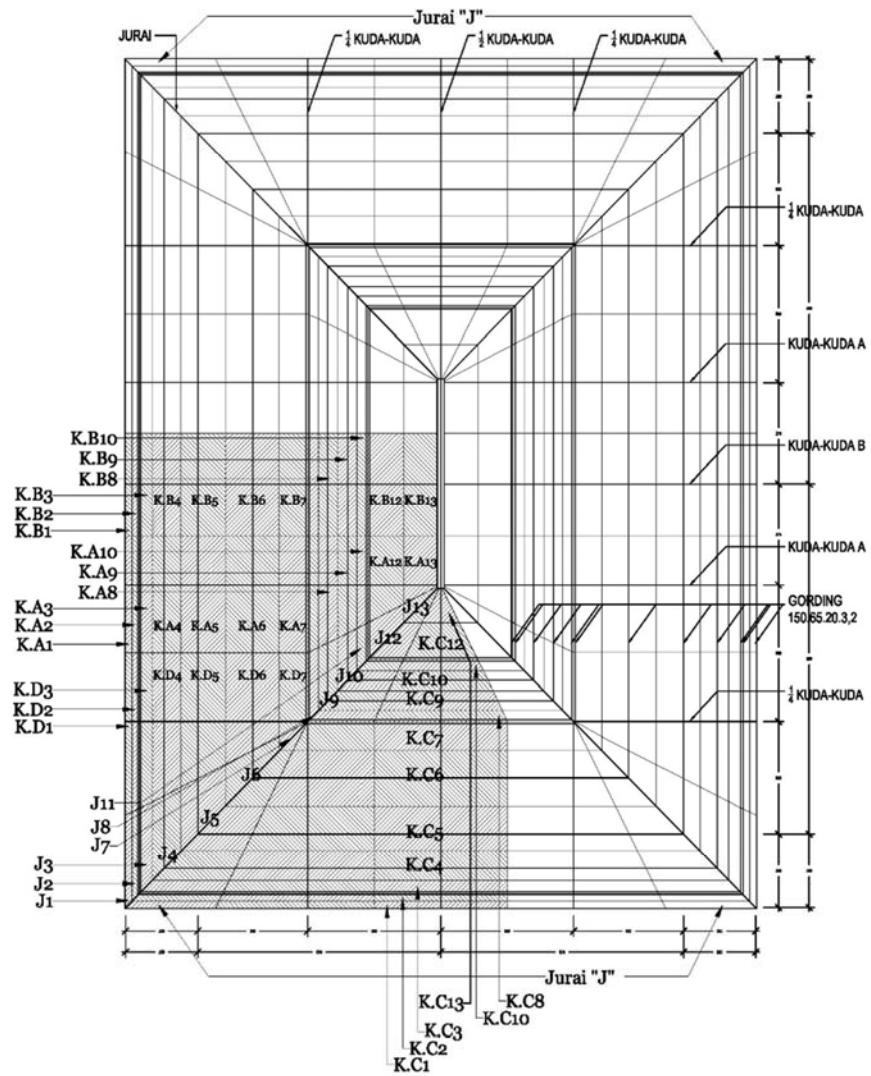
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} \cdot h_{ll} \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h_{ll} \cdot 2,350^2 \\
 &= 0,690 \cdot h_{ll}
 \end{aligned}$$

$$M_{C2} = M_{C1}$$

$$0,69 \cdot h_{ll} = 0,539$$

$$h_{ll} = 0,781 \text{ m} < 1,125 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ok}$$

4.2. PERATAAN BEBAN ATAP

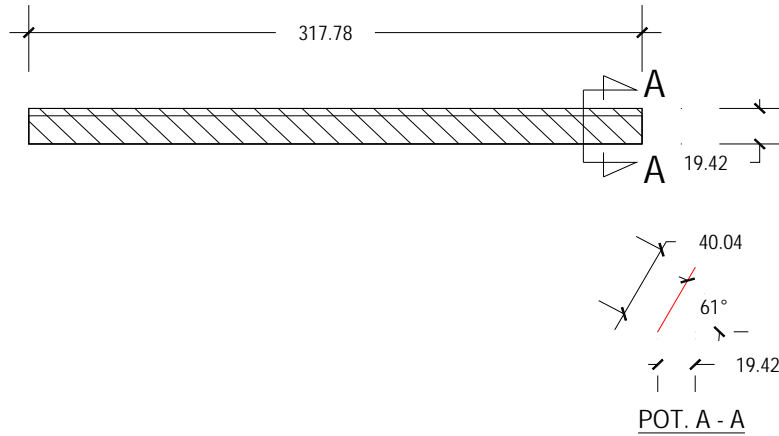


Gambar 4.5 : Perataan Beban Atap

4.2.1. Kuda-Kuda A

- Bidang K.A1

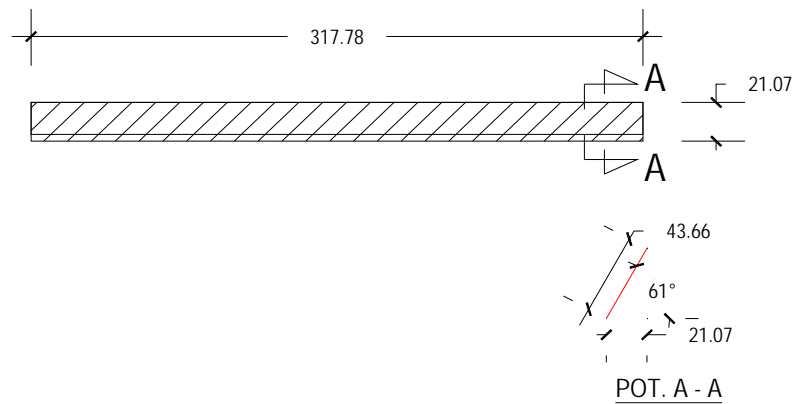
$$\begin{aligned}\text{Luas Bidang K.A1} &= \frac{3,178 + 3,178 + 3,178}{3} \times 0,4004 \\ &= 1,2724 \text{ m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4.6 : Bidang K.A1

- Bidang K.A2

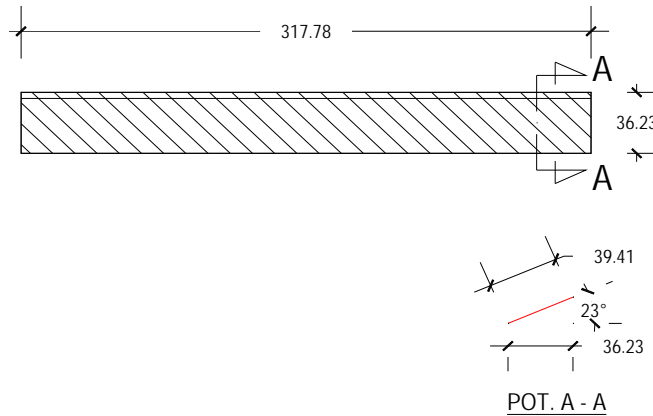
$$\begin{aligned}\text{Luas Bidang K.A1} &= \frac{3,178 + 3,178 + 3,178}{3} \times 0,4366 \\ &= 1,3874 \text{ m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4.7 : Bidang K.A2

- **Bidang K.A3**

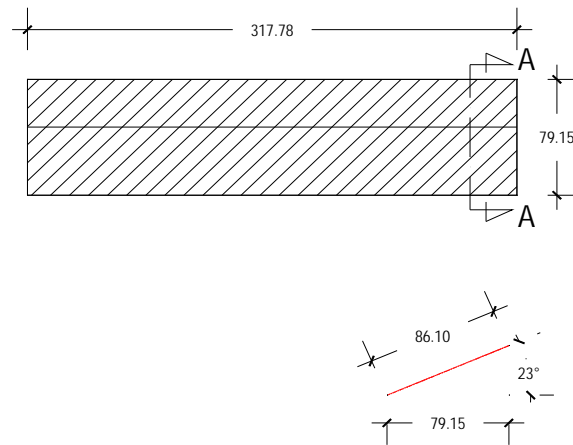
$$\begin{aligned}\text{Luas Bidang K.A1} &= \frac{3,178 + 3,178 + 3,178}{3} \times 0,3941 \\ &= 1,2524 \text{ m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4.8 : Bidang K.A3

- **Bidang K.A4**

$$\begin{aligned}\text{Luas Bidang K.A1} &= \frac{3,178 + 3,178 + 3,178}{3} \times 0,8610 \\ &= 2,7361 \text{ m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4.9 : Bidang K.A4

- Dan untuk luas bidang yang lainnya ditabelkan berikut ini :

Tabel 4.1 : Perhitungan luas bidang atap.

Keterangan	Kuda-Kuda A (K.A)					
	K.A1	K.A2	K.A3	K.A4	K.A5	K.A6
L gording (m)	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178
L batas bawah (m)	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178
L batas atas (m)	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178
Jarak dg gording bawah (m)	0,40	0,36	0,04	0,35	0,51	0,83
Jarak dg gording atas (m)	0,40	0,08	0,35	0,51	0,83	0,80
Luas bidang atap (m ²)	2,545	1,387	1,252	2,736	4,251	5,17

Keterangan	Kuda-Kuda A (K.A)					
	K.A7	K.A8	K.A9	K.A10	K.A11	K.A12
L gording (m)	3,178	3,154	2,914	2,647	2,394	2,344
L batas bawah (m)	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178	3,178
L batas atas (m)	3,178	3,031	2,786	2,521	2,369	1,86
Jarak dg gording bawah (m)	0,81	0,10	0,49	0,50	1,03	0,06
Jarak dg gording atas (m)	0,05	0,49	0,54	0,54	0,10	1,57
Luas bidang atap (m ²)	2,756	1,844	3,068	2,89	2,982	4,003

Keterangan	(K.A)	Kuda-Kuda B (K.B)				
	K.A13	K.B1	K.B2	K.B3	K.B4	K.B5
L gording (m)	3,178	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
L batas bawah (m)	3,178	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
L batas atas (m)	3,178	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
Jarak dg gording bawah (m)	0,52	0,40	0,36	0,04	0,35	0,51
Jarak dg gording atas (m)	0,52	0,40	0,08	0,35	0,51	0,83
Luas bidang atap (m ²)	3,316	2,232	1,217	1,099	2,4	3,729

Keterangan	Kuda-Kuda B (K.B)					
	K.B6	K.B7	K.B8	K.B9	K.B10	K.B11
L gording (m)	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
L batas bawah (m)	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
L batas atas (m)	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788	2,788
Jarak dg gording bawah (m)	0,83	0,81	0,10	0,49	0,50	1,03
Jarak dg gording atas (m)	0,80	0,05	0,49	0,54	0,54	0,10
Luas bidang atap (m ²)	4,535	2,418	1,647	2,89	2,896	3,141

Keterangan	(K.B)		1/2 Kuda-Kuda (K.C)			
	K.B12	K.B13	K.C1	K.C2	K.C3	K.C4
L gording (m)	2,788	2,788	3,694	3,694	3,694	3,694
L batas bawah (m)	2,788	2,788	3,694	3,694	3,694	3,694
L batas atas (m)	2,788	2,788	3,694	3,694	3,694	3,694
Jarak dg gording bawah (m)	0,06	0,52	0,40	0,36	0,04	0,35
Jarak dg gording atas (m)	1,57	0,52	0,40	0,08	0,35	0,51
Luas bidang atap (m ²)	4,535	2,909	2,958	1,613	1,456	3,181

Keterangan	1/2 Kuda-Kuda (K.C)					
	K.C5	K.C6	K.C7	K.C8	K.C9	K.C10
L gording (m)	3,694	3,694	3,694	3,651	3,178	2,623
L batas bawah (m)	3,694	3,694	3,694	3,694	3,426	2,905
L batas atas (m)	3,694	3,694	3,694	3,426	2,905	2,366
Jarak dg gording bawah (m)	0,51	0,83	0,81	0,10	0,49	0,50
Jarak dg gording atas (m)	0,83	0,80	0,05	0,49	0,54	0,54
Luas bidang atap (m ²)	4,942	6,01	3,204	2,122	3,287	2,734

Keterangan	1/2 Kuda-Kuda (K.C)			1/4 Kuda-Kuda (K.D)		
	K.C11	K.C12	K.C13	K.D1	K.D2	K.D3
L gording (m)	2,109	2,007	0,099	4,405	4,221	4,184
L batas bawah (m)	2,366	2,059	1,043	4,405	4,308	4,202
L batas atas (m)	2,059	1,043	0,099	4,308	4,202	4,021
Jarak dg gording bawah (m)	1,03	0,06	0,52	0,40	0,36	0,04
Jarak dg gording atas (m)	0,10	1,57	0,52	0,40	0,08	0,35
Luas bidang atap (m ²)	2,454	2,77	0,431	3,501	1,853	1,63

Keterangan	1/4 Kuda-Kuda (K.D)				Jurai (J)	
	K.D4	K.D5	K.D6	K.D7	J1	J2
L gording (m)	3,858	3,393	2,629	1,873	5,065	4,676
L batas bawah (m)	4,021	3,626	3,01	2,559	5,065	4,851
L batas atas (m)	3,626	3,01	2,559	1,847	4,851	4,64
Jarak dg gording bawah (m)	0,35	0,51	0,83	0,81	0,40	0,36
Jarak dg gording atas (m)	0,51	0,83	0,80	0,05	0,40	0,08
Luas bidang atap (m ²)	3,302	4,471	4,446	1,815	3,999	2,062

Keterangan	Jurai (J)					
	J3	J4	J5	J6	J7	J8
L gording (m)	4,604	3,952	3,021	1,493	0,048	3,646
L batas bawah (m)	4,64	4,268	3,486	2,257	0,753	3,701
L batas atas (m)	4,268	3,486	2,257	0,753	0,113	3,646
Jarak dg gording bawah (m)	0,04	0,35	0,51	0,83	0,81	0,10
Jarak dg gording atas (m)	0,35	0,51	0,83	0,80	0,05	0,49
Luas bidang atap (m ²)	1,775	3,36	3,907	2,442	0,264	2,166

Keterangan	Jurai (J)				
	J9	J10	J11	J12	J13
L gording (m)	3,113	2,545	2,038	1,941	0,13
L batas bawah (m)	3,646	2,825	2,292	1,988	1,024
L batas atas (m)	2,825	2,292	1,988	1,024	0,13
Jarak dg gording bawah (m)	0,49	0,50	1,03	0,06	0,52
Jarak dg gording atas (m)	0,54	0,54	0,10	1,57	0,52
Luas bidang atap (m ²)	3,312	2,654	2,373	2,686	0,446

Total Luas Perataan Atap

Untuk Setengah Kuda- Kuda A / K.A "Kuda-Kuda A"

$$= 38,2 \text{ m}^2$$

Untuk Setengah Kuda- Kuda B / K.B "Kuda-Kuda B"

$$= 35,65 \text{ m}^2$$

Untuk 1 Kuda- Kuda C / K.C "1/2 Kuda-Kuda"

$$= 37,16 \text{ m}^2$$

Untuk 1 Kuda- Kuda D / K.D "1/4 Kuda-Kuda"

$$= 21,02 \text{ m}^2$$

Untuk 1 Jurai / K.J "Jurai"

$$= 31,45 \text{ m}^2$$

4.2.2. Pembebanan Atap.

● Beban Mati.

- Berat kuda-kuda :

$$\text{J L } 50.50.5 = \text{berat profil/m} = 7,54 \text{ kg/m}$$

$$= (\text{ Panjang profil x berat profil })$$

$$= (291,5 \times 7,54)$$

$$= 2197,58 \text{ kg}$$

$$\text{J L } 60.60.6 = \text{berat profil/m} = 45,60 \text{ kg/m}$$

$$= (\text{ Panjang profil x berat profil })$$

$$\begin{aligned}
&= (161,5 \times 45,60) \\
&= 7364,05 \text{ kg} \\
\text{J L } 70.70.7 &= \text{berat profil/m} = 7,38 \text{ kg/m} \\
&= (\text{ Panjang profil x berat profil}) \\
&= (208,5 \times 7,38) \\
&= 1538,50 \text{ kg} \\
- \text{ L } 50.50.5 &= \text{berat profil/m} = 3,77 \text{ kg/m} \\
&= (\text{ Panjang profil x berat profil}) \\
&= (642,3 \times 3,77) \\
&= 2421,47 \text{ kg} \\
- \text{ C } 150.65.20.3,2 &= \text{berat profil/m} = 7,51 \text{ kg/m} \\
&= (\text{ Panjang profil x berat profil}) \\
&= (642,3 \times 7,51) \\
&= 4823,67 \text{ kg} \\
- \text{ } \circ \text{ } \varnothing 4' &= \text{berat profil/m} = 16,03 \text{ kg/m} \\
&= (\text{ Panjang profil x berat profil}) \\
&= (28,85 \times 16,03) \\
&= 462,51 \text{ kg} \\
- \text{ Berat atap genteng} &= 50 \text{ kg/m}^2 \\
&= (\text{ Total luas bidang atap x berat genteng}). \\
&= (508,3 \times 50,00) \\
&= 25414,21 \text{ kg}
\end{aligned}$$

● **Beban Hidup.**

$$\begin{aligned}
- \text{ Atap/bagiannya yg dapat dicapai orang} &= 100 \text{ kg/m}^2 \\
- \text{ Atap/bagiannya yg tidak dapat dicapai orang} & \\
&- \text{ Beban Hujan} \\
\theta 1 &= (40 - 0,8 \cdot \sin 61^\circ) \\
&= (40 - 0,8 \cdot 0,8517) = 39,15 \text{ kg/m}^2 \\
\theta 2 &= (40 - 0,8 \cdot \sin 0^\circ)
\end{aligned}$$

$$= (40 - 0,8 \cdot 23^\circ)$$

$$= (40 - 0,3211) = 39,68 \text{ kg/m}^2$$

$$\theta_3 = (40 - 0,8 \cdot s^\circ)$$

$$= (40 - 0,8 \cdot 59^\circ)$$

$$= (40 - 0,8238) = 39,18 \text{ kg/m}^2$$

$$\theta_4 = (40 - 0,8 \cdot s^\circ)$$

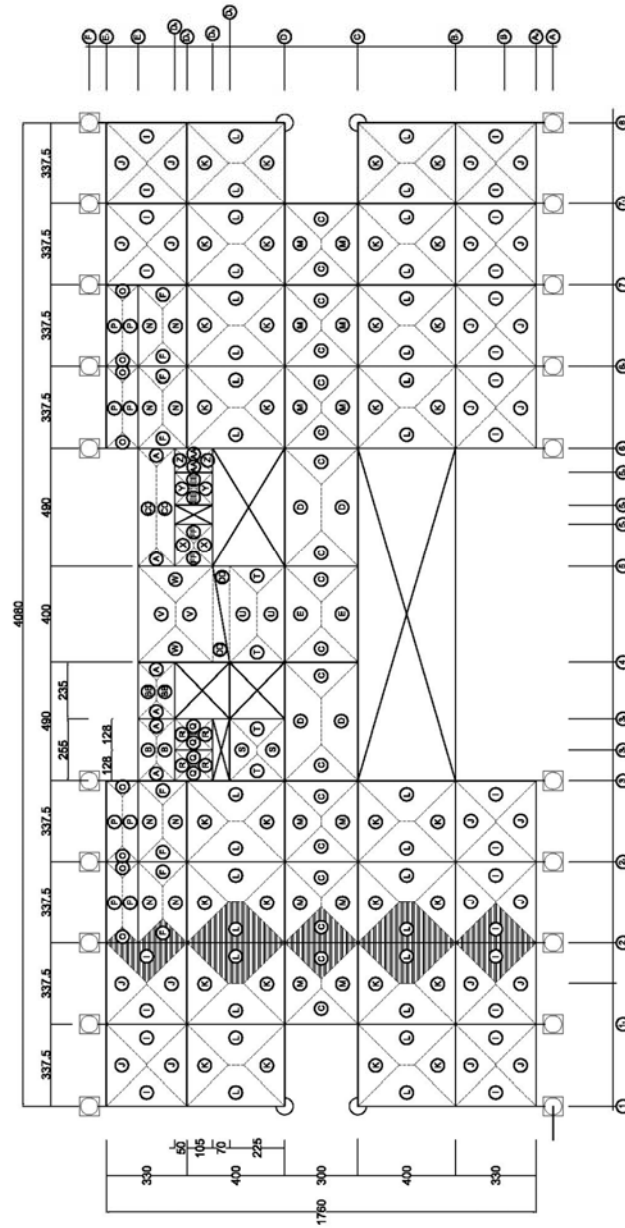
$$= (40 - 0,8 \cdot 29^\circ)$$

$$= (40 - 0,4049) = 39,6 \text{ kg/m}^2$$

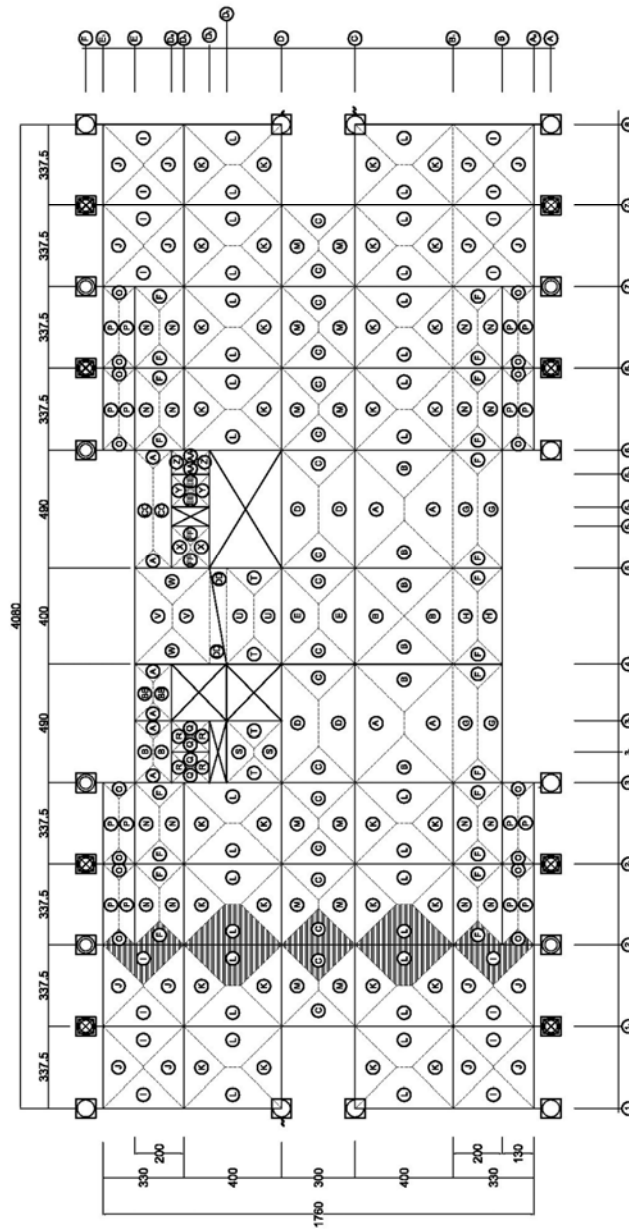
$$\text{- Beban terpusat} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Gording tepi} = 200 \text{ kg/m}^2$$

4.3. PERHITUNGAN PEMBEBANAN



Gambar 4.10 : Perataan Beban Lantai



Gambar 4.11 : Perataan Beban Lantai

4.3.1. Pembebanan Balok

Pembebanan Plat Lantai

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri pelat} &= 0,12 \times 2400 = 288,00 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat spesi} &= 2 \times 21 = 42,00 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat tegel} &= 1 \times 24 = 24,00 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat plafon + penggantung} &= 11 + 7 = \underline{18,00 \text{ kg/m}^2} + \\
 q \text{ d pelat} &= 372,00 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

● Pembebanan Balok Lt.2

➤ Untuk Perhitungan Memanjang

➤ Pembebanan Balok Induk Line 2 - 2.

- **Beban Mati :**

- **Beban merata (q D1).**

- Beban pelat lantai

$$\begin{aligned}
 &= q \text{ d pelat} \times (h_i + h_o + h_f) \\
 &= 372,00 \times (1,1 + 0,433 + 0,667) \\
 &= 818,40 = 818,40 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Berat balok WF 588x300x12x20 = 151,00 = 151,00 kg/m

- Berat dinding pasangan bata merah

$$\begin{aligned}
 &= 3,30 \times (0,5 \times 4,00) \times 250 \\
 &= 1650 = 1650 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Berat sambungan

$$\begin{aligned}
 &= 10\% \times 151 = \underline{15,10 \text{ kg/m}} + \\
 q \text{ D1} &= 2634,50 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- **Beban merata (q D2).**

- Beban pelat lantai

$$\begin{aligned}
 &= q \text{ d pelat} \times (h_l + h_l) \\
 &= 372,00 \times (1,28 + 1,28) = 952,25 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Berat balok WF 588x300x12x20 = 151,00 = 151,00 kg/m

- Berat dinding pasangan bata merah

$$= 4,00 \times [(0,5 \times 5,00)$$

$$+ (0,5 \times 4,00)] \times 250 = 4500 \text{ kg/m}$$

- Berat sambungan

$$= 10\% \times 151 = \frac{15,10 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q D2 = 5618,35 \text{ kg/m}$$

- **Beban merata (q D3).**

- Beban pelat lantai

$$= q d \text{ pelat} \times (h_c + h_c)$$

$$= 372,00 \times (1,00 + 1,00) = 744,00 \text{ kg/m}$$

- Berat balok WF 350x175x7x11 = 49,60 = 49,60 kg/m

- Berat sambungan

$$= 10\% \times 49,6 = \frac{4,96 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q D3 = 798,56 \text{ kg/m}$$

- **Beban merata (q D4).**

- Beban pelat lantai

$$= q d \text{ pelat} \times (h_i + h_i)$$

$$= 372,00 \times (1,10 + 1,10) = 818,40 \text{ kg/m}$$

- Berat balok WF 588x300x12x20 = 151,00 = 151,00 kg/m

- Berat sambungan

$$= 10\% \times 151 = \frac{15,10 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q D4 = 984,50 \text{ kg/m}$$

- **Beban Hidup :**

- **Beban merata (q L1).**

- Berat guna bangunan

$$= 250 \times (h_i + h_o + h_f) \times \text{Faktor Reduksi}$$

$$= 250 \times (1,1 + 0,433 + 0,667) \times 0,9$$

$$= 495,000 = \frac{495,00 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q L1 = 495,00 \text{ kg/m}$$

- **Beban merata (q L2).**

- Berat guna bangunan

$$= 250 \times (h_l + h_l) \times \text{Faktor Reduksi}$$

$$\begin{aligned}
 &= 250 \times (1,28 + 1,28) \times 0,9 \\
 &= 575,957 \qquad \qquad \qquad = \frac{575,96 \text{ kg/m}}{+} \\
 \mathbf{q \text{ L2}} &= \mathbf{575,96 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

- **Beban merata (q L3).**

- Berat guna bangunan

$$\begin{aligned}
 &= 250 \times (h_c + h_c) \times \text{Faktor Reduksi} \\
 &= 250 \times (1,00 + 1,00) \times 0,9 \\
 &= 450,000 \qquad \qquad \qquad = \frac{450,00 \text{ kg/m}}{+} \\
 \mathbf{q \text{ L3}} &= \mathbf{450,00 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

- **Beban merata (q L4).**

- Berat guna bangunan

$$\begin{aligned}
 &= 250 \times (h_i + h_i) \times \text{Faktor Reduksi} \\
 &= 250 \times (1,10 + 1,10) \times 0,9 \\
 &= 495,000 \qquad \qquad \qquad = \frac{495,00 \text{ kg/m}}{+} \\
 \mathbf{q \text{ L4}} &= \mathbf{495,00 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

● **Pembebanan Balok Lt.3, 4, 5 dan 6**

➤ **Untuk Perhitungan Memanjang**

➤ **Pembebanan Balok Induk Line 2 - 2.**

- **Beban Mati :**

- **Beban merata (q D1).**

- **Beban pelat lantai**

$$= q_{d\text{ pelat}} \times (h_i + h_o + h_f)$$

$$= 372,00 \times (1,1 + 0,433 + 0,667)$$

$$= 818,40 = 818,40 \text{ kg/m}$$

- Berat balok WF 588x300x12x20 = 151,00 = 151,00 kg/m

- **Berat dinding pasangan bata merah**

$$= 3,30 \times [(0,5 \times 4,00)$$

$$+ (0,5 \times 4,00)] \times 250 = 3300 \text{ kg/m}$$

- **Berat sambungan**

$$= 10\% \times 151 = \frac{15,10 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q_{D1} = 4284,50 \text{ kg/m}$$

- **Beban merata (q D2).**

- **Beban pelat lantai**

$$= q_{d\text{ pelat}} \times (h_l + h_l)$$

$$= 372,00 \times (1,28 + 1,28) = 952,25 \text{ kg/m}$$

- Berat balok WF 588x300x12x20 = 151,00 = 151,00 kg/m

- **Berat dinding pasangan bata merah**

$$= 4,00 \times [(0,5 \times 4,00)$$

$$+ (0,5 \times 4,00)] \times 250 = 4000 \text{ kg/m}$$

- **Berat sambungan**

$$= 10\% \times 151 = \frac{15,10 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q_{D2} = 5118,35 \text{ kg/m}$$

- **Beban merata (q D3).**

- **Beban pelat lantai**

$$= q_{d\text{ pelat}} \times (h_c + h_c)$$

$$= 372,00 \times (1,00 + 1,00) = 744,00 \text{ kg/m}$$

- Berat balok WF 350x175x7x11 = 49,60 = 49,60 kg/m
- Berat sambungan

$$= 10\% \times 49,6 = \frac{4,96 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q D3 = 798,56 \text{ kg/m}$$
- **Beban Hidup :**
- **Beban merata (q L1).**
- Berat guna bangunan

$$= 250 \times (h_i + h_o + h_f) \times \text{Faktor Reduksi}$$

$$= 250 \times (1,1 + 0,433 + 0,667) \times 0,9$$

$$= 495,00 = \frac{495,00 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q L1 = 495,00 \text{ kg/m}$$
- **Beban merata (q L2).**
- Berat guna bangunan

$$= 250 \times (h_l + h_l) \times \text{Faktor Reduksi}$$

$$= 250 \times (1,28 + 1,28) \times 0,9$$

$$= 575,96 = \frac{575,96 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q L2 = 575,96 \text{ kg/m}$$
- **Beban merata (q L3).**
- Berat guna bangunan

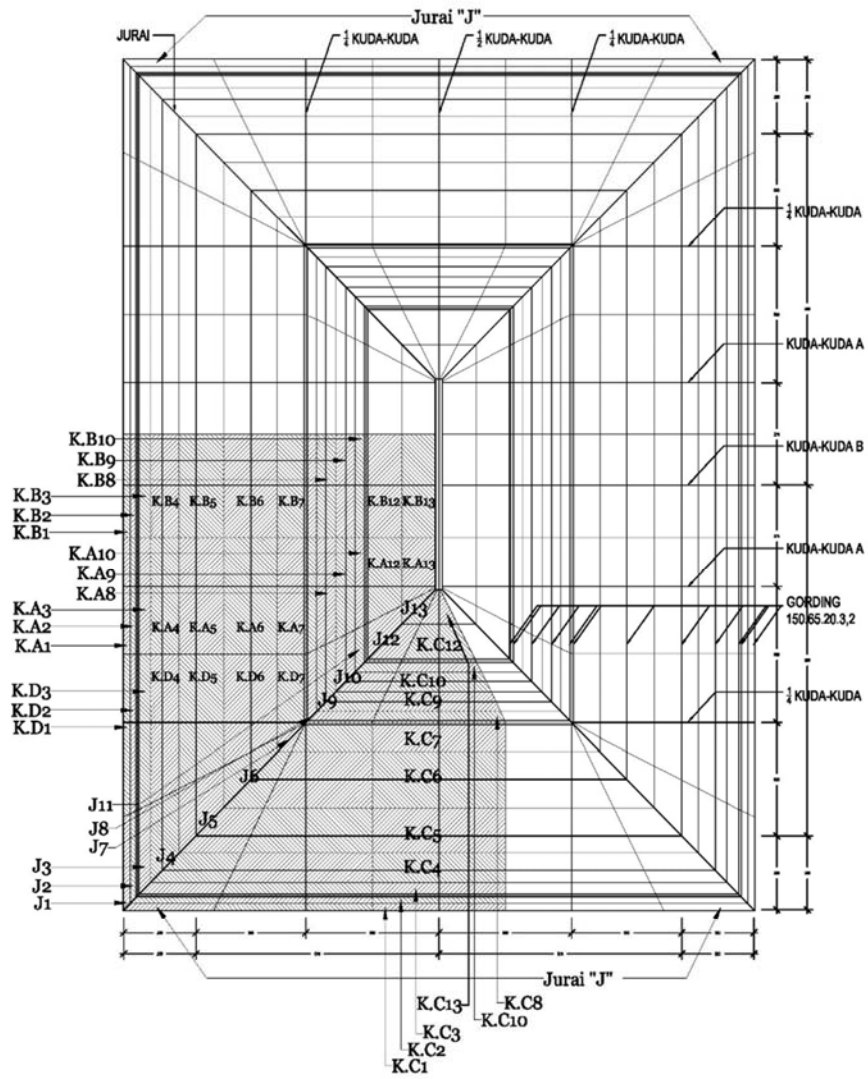
$$= 250 \times (h_c + h_c) \times \text{Faktor Reduksi}$$

$$= 250 \times (1,00 + 1,00) \times 0,9$$

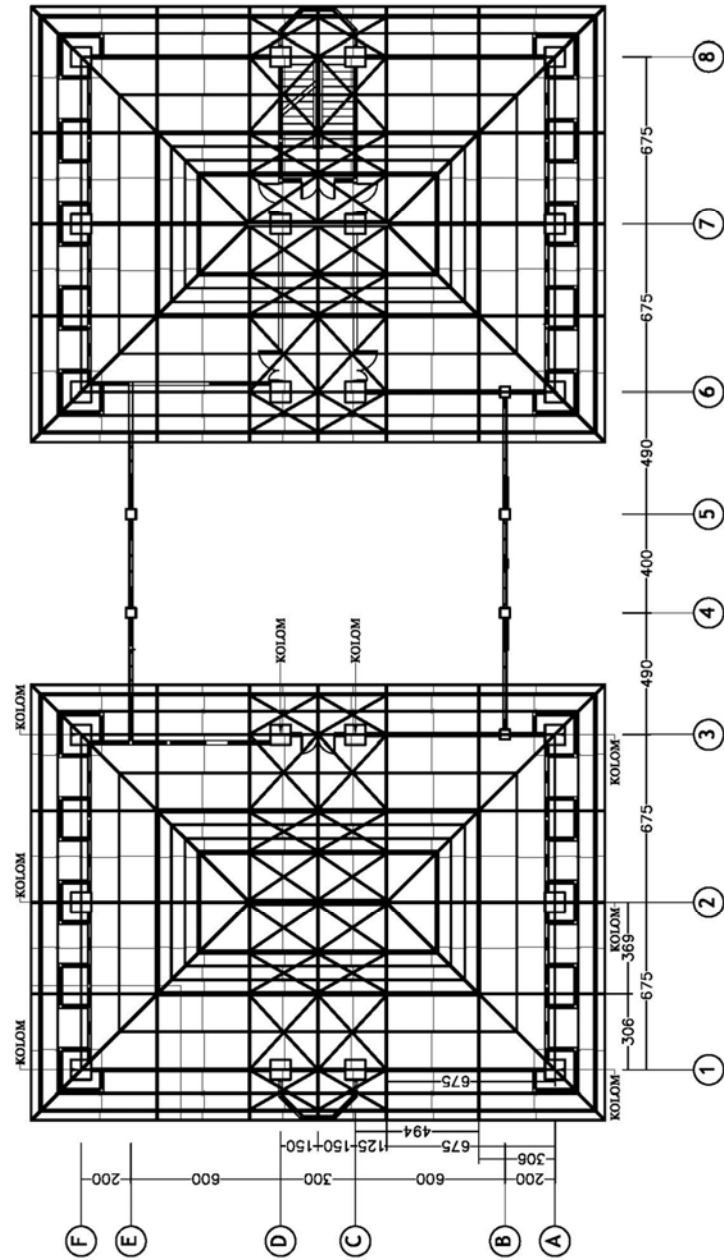
$$= 450,00 = \frac{450,00 \text{ kg/m}}{+}$$

$$q L3 = 450,00 \text{ kg/m}$$

➤ Reaksi Tumpuan Akibat Beban Atap



Gambar 4.12 : Perataan Beban Atap



Gambar 4.13 : Rencana Atap

➤ **Bagian Untuk Atap Joglo**

➤ **Beban Mati (P ATAP)**

➤ **Beban Terpusat Untuk Jurai (P ATAP1):**

- **Beban menuju kolom A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8**

- Berat Profil

$$= \text{Panjang profil (m)} \times \text{berat profil (kg/m)}$$

- Berat \perp L 50.50.5

$$= 23,26 \text{ m} \times 7,54 \text{ kg/m} = 175,3796 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 60.60.6

$$= 13,46 \text{ m} \times 45,60 \text{ kg/m} = 613,6711 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 70.70.7

$$= 16,81 \text{ m} \times 7,38 \text{ kg/m} = 124,0556 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 50.50.5

$$= 36,27 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,3952 \text{ kg}$$

- Berat C 150.65.20.3,2

$$= 36,27 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,3952 \text{ kg}$$

- Berat \circ \emptyset 4'

$$= 2,54 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 40,75628 \text{ kg}$$

- Berat \circ \emptyset 4'

$$= 6,23 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 99,82683 \text{ kg}$$

- Berat genteng

$$= \text{Luas perataan atap m}^2 \times \text{berat komponen gedung kg/m}^2$$

$$= 31,45 \text{ m} \times 50,00 \text{ kg/m} = \underline{1572,271 \text{ kg}} +$$

$$\mathbf{WDA} = \mathbf{3170,75 \text{ kg}}$$

- Beban Kebetulan = 100 kg , untuk ujung = 200 kg

Reaksi tumpuan beban hidup :

$$\mathbf{WLA} = \frac{200 + (\text{Jumlah simpul} \cdot 100)}{2}$$

$$= \frac{200 + (9 \cdot 100)}{2}$$

$$= 550 \text{ kg}$$

➤ **Beban Terpusat Untuk Kuda-Kuda A (P ATAP2):**

- Berat Profil
 - = Panjang profil (m) x berat profil (kg/m)
 - Berat \perp L 50.50.5
 - = 24,80 m x 7,54 kg/m = 187,0078 kg
 - Berat \perp L 60.60.6
 - = 13,46 m x 45,60 kg/m = 613,6711 kg
 - Berat \perp L 70.70.7
 - = 17,65 m x 7,38 kg/m = 130,285 kg
 - Berat \perp L 50.50.5
 - = 38,88 m x 7,51 kg/m = 291,952 kg
 - Berat C 150.65.20.3,2
 - = 38,88 m x 7,51 kg/m = 291,952 kg
 - Berat \circ \varnothing 4'
 - = 6,23 m x 16,03 kg/m = 99,82683 kg
 - Berat genteng
 - = Luas perataan atap m² x berat komponen gedung kg/m²
 - = 38,20 m x 50,00 kg/m = 1910,091 kg +
- WDA = 3524,79 kg**

- Beban menuju kolom A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8

$$= WDA \times \text{Jarak kuda-kuda A ke kolom}$$

$$= 3524,79 \times 6,75$$

$$= 23792,31 \text{ kg/m}$$

$$= 237,92 \text{ kg}$$

- Beban menuju kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8

$$= WDA \times \text{Jarak kuda-kuda A ke kolom}$$

$$= 3524,79 \times 1,25$$

$$= 4405,98 \text{ kg/m}$$

$$= 44,06 \text{ kg}$$

- Beban Kebetulan = 100 kg , untuk ujung = 200 kg

Reaksi tumpuan beban hidup :

$$\begin{aligned} WLA &= \frac{200 + (\text{Jumlah simpul} \cdot 100)}{2} \\ &= \frac{200 + (9 \cdot 100)}{2} \\ &= 550 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Jadi beban kebetulan kolom A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8

$$= WLA \times \text{Jarak kuda-kuda A ke kolom}$$

$$= 550,00 \times 6,75$$

$$= 3712,50 \text{ kg/m}$$

$$= 37,13 \text{ kg}$$

- Jadi beban kebetulan kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8

$$= WLA \times \text{Jarak kuda-kuda A ke kolom}$$

$$= 550,00 \times 1,25$$

$$= 687,50 \text{ kg/m}$$

$$= 6,88 \text{ kg}$$

➤ **Beban Terpusat Untuk Kuda-Kuda B (P ATAP3):**

- Berat Profil

$$= \text{Panjang profil (m)} \times \text{berat profil (kg/m)}$$

- Berat $\angle 50.50.5$

$$= 24,80 \text{ m} \times 7,54 \text{ kg/m} = 187,0078 \text{ kg}$$

- Berat $\angle 60.60.6$

$$= 13,46 \text{ m} \times 45,60 \text{ kg/m} = 613,6711 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 70.70.7
 $= 17,65 \text{ m} \times 7,38 \text{ kg/m} = 130,285 \text{ kg}$
- Berat \perp L 50.50.5
 $= 36,24 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,1534 \text{ kg}$
- Berat C 150.65.20.3,2
 $= 36,24 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,1534 \text{ kg}$
- Berat $\circ \emptyset 4'$
 $= 6,23 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 99,82683 \text{ kg}$
- Berat genteng
 $= \text{Luas perataan atap m}^2 \times \text{berat komponen gedung kg/m}^2$
 $= 35,65 \text{ m} \times 50,00 \text{ kg/m} = \underline{1782,447 \text{ kg}} +$
 $\text{WDA} = 3357,54 \text{ kg}$

- Beban menuju kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8
 $= \text{WATAP3} \times \text{Jarak kuda-kuda B ke kolom}$
 $= 3357,54 \times 1,5$
 $= 5036,32 \text{ kg/m}$
 $= 50,36 \text{ kg}$

- Beban Kebetulan = 100 kg , untuk ujung = 200 kg

Reaksi tumpuan beban hidup :

$$\begin{aligned} \text{WLA} &= \frac{200 + (\text{Jumlah simpul} \cdot 100)}{2} \\ &= \frac{200 + (9 \cdot 100)}{2} \\ &= 550 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Jadi beban kebetulan kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8
 $= \text{WLA} \times \text{Jarak kuda-kuda A ke kolom}$

$$\begin{aligned}
 &= 550,00 \times 1,5 \\
 &= 825,00 \text{ kg/m} \\
 &= 8,25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Untuk Kuda-Kuda C (P ATAP4) " 1/2 Kuda-Kuda " :**

- **Beban menuju kolom A-2;A-7 dan F-2;F-2**
 - Berat Profil

$$= \text{Panjang profil (m)} \times \text{berat profil (kg/m)}$$
 - Berat \perp L 50.50.5

$$= 24,80 \text{ m} \times 7,54 \text{ kg/m} = 187,0078 \text{ kg}$$
 - Berat \perp L 60.60.6

$$= 13,46 \text{ m} \times 45,60 \text{ kg/m} = 613,6711 \text{ kg}$$
 - Berat \perp L 70.70.7

$$= 17,65 \text{ m} \times 7,38 \text{ kg/m} = 130,285 \text{ kg}$$
 - Berat \perp L 50.50.5

$$= 36,24 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,1534 \text{ kg}$$
 - Berat C 150.65.20.3,2

$$= 36,24 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 272,1534 \text{ kg}$$
 - Berat $\circ \emptyset 4'$

$$= 6,23 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 99,82683 \text{ kg}$$
 - Berat genteng

$$= \text{Luas perataan atap m}^2 \times \text{berat komponen gedung kg/m}^2$$

$$= 37,16 \text{ m} \times 50,00 \text{ kg/m} = \underline{1858,132 \text{ kg}} +$$

$$\text{WDA} = 3246,22 \text{ kg}$$
- Beban Kebetulan = 100 kg , untuk ujung = 200 kg

Reaksi tumpuan beban hidup :

$$\begin{aligned}
 WL &= \frac{200 + (\text{Jumlah simpul} \cdot 100)}{2} \\
 &= \frac{200 + (9 \cdot 100)}{2} \\
 &= 128
 \end{aligned}$$

$$= 550 \text{ kg}$$

➤ **Beban Terpusat Untuk Kuda-Kuda D (P ATAP5) " 1/4 Kuda-Kuda " :**

- Berat Profil

$$= \text{Panjang profil (m)} \times \text{berat profil (kg/m)}$$

- Berat \perp L 50.50.5

$$= 13,07 \text{ m} \times 7,54 \text{ kg/m} = 98,5576 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 60.60.6

$$= 3,07 \text{ m} \times 45,60 \text{ kg/m} = 140,065 \text{ kg}$$

- Berat \perp L 70.70.7

$$= 3,32 \text{ m} \times 7,38 \text{ kg/m} = 24,53038 \text{ kg}$$

- Berat L 50.50.5

$$= 24,56 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 184,4606 \text{ kg}$$

- Berat C 150.65.20.3,2

$$= 24,56 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 184,4606 \text{ kg}$$

- Berat $\circ \varnothing 4'$

$$= 2,54 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 40,75628 \text{ kg}$$

- Berat genteng

$$= \text{Luas perataan atap m}^2 \times \text{berat komponen gedung kg/m}^2$$

$$= 21,02 \text{ m}^2 \times 50,00 \text{ kg/m}^2 = \frac{1050,9 \text{ kg}}{+}$$

$$\mathbf{WDA = 1723,73 \text{ kg}}$$

- Beban menuju kolom A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8

$$= \mathbf{WDA} \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom}$$

$$= 1723,73 \times 3,06$$

$$= \mathbf{5274,61 \text{ kg/m}}$$

$$= \mathbf{52,75 \text{ kg}}$$

- Beban menuju kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8

$$= \mathbf{WDA} \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom (m)}$$

$$= 1723,73 \times 4,94$$

$$= 8515,23 \text{ kg/m}$$

$$= 85,15 \text{ kg}$$

- Beban menuju kolom A-2;A-7 dan F-2;F-2

$$= WDA \text{ kg} \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom (m)}$$

$$= 1723,73 \text{ kg} \times 3,69 \text{ m}$$

$$= 6360,56 \text{ kg/m}$$

$$= 63,61 \text{ kg}$$

- Beban Kebetulan = 100 kg , untuk ujung = 200 kg

Reaksi tumpuan beban hidup :

$$WLA = \frac{200 + (\text{Jumlah simpul} \cdot 100)}{2}$$

$$= \frac{200 + (9 \cdot 100)}{2}$$

$$= 550 \text{ kg}$$

- Jadi beban kebetulan kolom A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8

$$= WLA \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom}$$

$$= 550,00 \times 3,06$$

$$= 1683,00 \text{ kg/m}$$

$$= 16,83 \text{ kg}$$

- Jadi beban kebetulan kolom C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8

$$= WLA \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom}$$

$$= 550,00 \times 4,94$$

$$= 2717,00 \text{ kg/m}$$

$$= 27,17 \text{ kg}$$

- Jadi beban kebetulan kolom A-2;A-7 dan F-2;F-2

$$= WLA \times \text{Jarak kuda-kuda D ke kolom}$$

$$\begin{aligned}
 &= 550,00 \times 3,69 \\
 &= 2029,50 \text{ kg/m} \\
 &= 20,30 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

➤ Total Beban Atap Terpusat

- Total Beban Terpusat A-1;A-3;A-6;A-8 dan F-1;F-3;F-6;F-8

- Beban mati kolom.

$$\begin{aligned}
 WDA &= \text{jurai} + \text{kuda-kuda A} + 1/4 \text{ kuda kuda} \\
 &= 3170,75 + 237,92 + 52,75 \\
 &= 3461,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban kebetulan.

$$\begin{aligned}
 WLA &= \text{jurai} + \text{kuda-kuda A} + 1/4 \text{ kuda kuda} \\
 &= 550,00 + 37,13 + 16,83 \\
 &= 603,96 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Total Beban Terpusat C-1;C-3;C-6;C-8 dan D-1;D-3;D-6;D-8

- Beban mati kolom.

$$\begin{aligned}
 WDA &= \text{kuda-kuda A} + \text{kuda-kuda B} + 1/4 \text{ kuda kuda} \\
 &= 44,06 + 50,36 + 85,15 \\
 &= 179,58 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban kebetulan.

$$\begin{aligned}
 WLA &= \text{kuda-kuda A} + \text{kuda-kuda B} + 1/4 \text{ kuda kuda} \\
 &= 6,88 + 8,25 + 27,17 \\
 &= 42,30 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Total Beban Terpusat A-2;A-7 dan F-2;F-2

- Beban mati kolom.

$$\begin{aligned}
 WDA &= 1/2 \text{ kuda kuda} + (2 \cdot 1/4 \text{ kuda kuda}) \\
 &= 3246,22 + (2 \cdot 63,61) \\
 &= 3373,43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban kebetulan.

$$\begin{aligned}
 WLA &= 1/2 \text{ kuda kuda} + (2 \cdot 1/4 \text{ kuda kuda}) \\
 &= 550,00 + (2 \cdot 27,17) \\
 &= \mathbf{604,34 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Lt. 2**

- **Beban Mati :**
- **Beban Terpusat (P D1)**
- Berat Kolom

$$\begin{aligned}
 WF \ 588 \times 300 \times 12 \times 2 &= 151,0 \times 4,5 = \underline{679,50 \text{ kg}} \\
 \mathbf{P \ D1} &= \mathbf{679,50 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Lt. 3, 4, 5 dan 6**

- **Beban Mati :**
- **Beban Terpusat (P D1)**
- Berat Kolom

$$\begin{aligned}
 WF \ 588 \times 300 \times 12 \times 2 &= 151,0 \times 4 = \underline{604,00 \text{ kg}} \\
 \mathbf{P \ D1} &= \mathbf{604,00 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Lt. 7 (Stake Kolom)**

- **Beban Mati :**
- **Beban Terpusat (P D1)**
- Berat Kolom

$$\begin{aligned}
 WF \ 588 \times 300 \times 12 \times 2 &= 151,0 \times 2,5 = \underline{377,50 \text{ kg}} \\
 \mathbf{P \ D1} &= \mathbf{377,50 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Lt. 2**

***) Line 2 - 2 = Line 7 - 7**

- Beban Mati

$$\begin{aligned}
 P1 &= [qD \cdot h_j \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38) \\
 &+ [qD \cdot h_p \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (\text{kolom WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 4,50) \\
= & [372,00 \text{ . } 1,13 \text{ . } 3,38] \\
& + (151,00 \text{ . } 3,38) \\
& + [372,00 \text{ . } 0,62 \text{ . } 3,38] \\
& + (151,00 \text{ . } 3,38) \\
= & \mathbf{3212,237 \text{ kg}} \\
P2 = & [qD \text{ . } h_n \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 300 \times 150 \times 6,5 \times 9 \text{ . } 3,38) \\
& + [qD \text{ . } h_p) \text{ . } 3,38] \\
= & [372,00 \text{ . } 0,89 \text{ . } 3,38] \\
& + (36,70 \text{ . } 3,38) \\
& + [372,00 \text{ . } 0,62 \text{ . } 3,38] \\
= & \mathbf{2014,515 \text{ kg}} \\
P3 = & [qD \text{ . } h_j \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 3,38) \\
& + [qD \text{ . } h_n \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 3,38) \\
& + [qD \text{ . } (2 \text{ . } h_k) \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 3,38) \\
= & [372,00 \text{ . } 1,13 \text{ . } 3,38] \\
& + (151,00 \text{ . } 3,38) \\
& + [372,00 \text{ . } 0,89 \text{ . } 3,38] \\
& + (151,00 \text{ . } 3,38) \\
& + [372,00 \text{ . } (2 \text{ . } 0,90) \text{ . } 3,38] \\
& + (151,00 \text{ . } 3,38) \\
= & \mathbf{6326,199 \text{ kg}} \\
P4 = & [qD \text{ . } (2 \text{ . } h_m) \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 3,38) \\
& + [qD \text{ . } (2 \text{ . } h_k) \text{ . } 3,38] \\
& + (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 3,38) \\
& + (\text{kolom WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \text{ . } 4,50)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= [372,00 \cdot (2 \cdot 1,11) \cdot 3,38] \\
&\quad + (151,00 \cdot 3,38) \\
&\quad + [372,00 \cdot (2 \cdot 0,90) \cdot 3,38] \\
&\quad + (151,00 \cdot 3,38) \\
&\quad + (151,0 \cdot 4,5) \\
&= \mathbf{6746,519 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P5 &= [qD \cdot (2 \cdot h_j) \cdot 3,38] \\
&\quad + (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
&\quad + [qD \cdot (2 \cdot h_k) \cdot 3,38] \\
&\quad + (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
&= [372,00 \cdot (2 \cdot 1,13) \cdot 3,38] \\
&\quad + (151,00 \cdot 3,38) \\
&\quad + [372,00 \cdot (2 \cdot 0,90) \cdot 3,38] \\
&\quad + (151,00 \cdot 3,38) \\
&= \mathbf{6116,827 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P6 &= [qD \cdot (2 \cdot h_j) \cdot 3,38] \\
&\quad + (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
&= [372,00 \cdot (2 \cdot 1,13) \cdot 3,38] \\
&\quad + (76,00 \cdot 3,38) \\
&= \mathbf{3086,291 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned}
P1 &= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
&\quad \cdot \text{Faktor Reduksi} \\
&= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
&\quad \cdot 0,9 \\
&= \mathbf{608,4 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P2 &= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
&\quad \cdot \text{Faktor Reduksi}) \\
&\quad + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
&\quad \cdot \text{Faktor Reduksi}) \\
&= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot 0,9 \text{)} \\
 + & (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38 \text{)} + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38 \text{)} \\
 & \cdot 0,9 \text{)} \\
 = & \text{ 1284,4 kg}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Terpusat Lt. 3,4,5 dan 6**

*) **Line 2 - 2 = Line 7 - 7**

- Beban Mati

$$\begin{aligned}
 P1 &= [qD \cdot h_j \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
 &+ [qD \cdot h_p) \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
 &= [372,00 \cdot 1,13 \cdot 3,38] \\
 &+ (151,00 \cdot 3,38) \\
 &+ [372,00 \cdot 0,62 \cdot 3,38] \\
 &+ (151,00 \cdot 3,38) \\
 &= \mathbf{3212,237 \text{ kg}} \\
 P2 &= [qD \cdot h_n \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 300x150x6,5x9} \cdot 3,38) \\
 &+ [qD \cdot h_p) \cdot 3,38] \\
 &= [372,00 \cdot 0,89 \cdot 3,38] \\
 &+ (36,70 \cdot 3,38) \\
 &+ [372,00 \cdot 0,62 \cdot 3,38] \\
 &= \mathbf{2014,515 \text{ kg}} \\
 P3 &= [qD \cdot h_j \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
 &+ [qD \cdot h_n \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
 &+ [qD \cdot (2 \cdot h_k) \cdot 3,38] \\
 &+ (\text{berat balok WF 588x300x12x20} \cdot 3,38) \\
 &= [372,00 \cdot 1,13 \cdot 3,38] \\
 &+ (151,00 \cdot 3,38) \\
 &+ [372,00 \cdot 0,89 \cdot 3,38] \\
 &+ (151,00 \cdot 3,38) \\
 &+ [372,00 \cdot (2 \cdot 0,90) \cdot 3,38] \\
 &+ (151,00 \cdot 3,38)
 \end{aligned}$$

$$= 6326,199 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P4 &= [qD \cdot (2 \cdot \text{hm}) \cdot 3,38] \\ &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38) \\ &+ [qD \cdot (2 \cdot \text{hk}) \cdot 3,38] \\ &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38) \\ &+ (\text{kolom WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 4,00) \\ &= [372,00 \cdot (2 \cdot 1,11) \cdot 3,38] \\ &+ (151,00 \cdot 3,38) \\ &+ [372,00 \cdot (2 \cdot 0,90) \cdot 3,38] \\ &+ (151,00 \cdot 3,38) \\ &+ (151,0 \cdot 4,00) \end{aligned}$$

$$= 6671,019 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P5 &= [qD \cdot (2 \cdot \text{hm}) \cdot 3,38] \\ &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38) \\ &+ [qD \cdot (2 \cdot \text{hk}) \cdot 3,38] \\ &+ (\text{berat balok WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 3,38) \\ &+ (\text{kolom WF } 588 \times 300 \times 12 \times 2 \cdot 2,00) \\ &= [372,00 \cdot (2 \cdot 1,11) \cdot 3,38] \\ &+ (151,00 \cdot 3,38) \\ &+ [372,00 \cdot (2 \cdot 0,90) \cdot 3,38] \\ &+ (151,00 \cdot 3,38) \\ &+ (151,0 \cdot 2,00) \end{aligned}$$

$$= 6369,019 \text{ kg} \dots\dots (\text{Kolom Tengah Lt.6})$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned} P1 &= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\ &\cdot \text{Faktor Reduksi} \\ &= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\ &\cdot 0,9 \\ &= 608,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\ &\cdot \text{Faktor Reduksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
& \cdot \text{Faktor Reduksi}) \\
& = (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
& \cdot 0,9) \\
& + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) + (100 \text{ kg/m} \cdot 3,38) \\
& \cdot 0,9) \\
& = \mathbf{1284,4 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

4.4. BEBAN GEMPA

4.4.1 Berat Total Bangunan

➤ Daerah W 9

➤ Beban Mati

- Berat Pelat Atap Dak

$$= q_d \text{ atap (kg/m)} \times \text{luas atap (m}^2\text{)}$$

$$= 258,00 \text{ kg/m} \times 95,79286 \text{ m}^2 = 24714,558 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 200x100x5,5x8

$$= 8,2 \text{ m} \times 21,30 \text{ kg/m} = 174,660 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (21,30 \times 4) = 8,520 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 350x175x7x11

$$= 79,2 \text{ m} \times 49,60 \text{ kg/m} = 3928,518 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (49,60 \times 11) = 54,560 \text{ kg}$$
- Berat Kolom Profil WF 588x300x12x20

$$= 30,28 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 4571,525 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Pasangan Batu Bata

$$= 58,81 \times [(0,5 \times 4,05) \times 250] = 29770,031 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Geser Beton Bertulang

$$= 14,68 \times [(0,5 \times 4,05) \times 2400] = 71344,800 \text{ kg} +$$

$$\text{WD9} = 134733,273 \text{ kg}$$

➤ Beban Hidup

- **WL9**

$$= q_L \text{ atap (kg/m}^2\text{)} \times \text{luas atap (m}^2\text{)} \times \text{faktor reduksi}$$

$$= 100 \text{ kg/m}^2 \times 95,79286 \text{ m}^2 \times 0,5$$

$$= 4789,643 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \nearrow \text{Beban Total } W9 &= W_{D9} + W_{L9} \\
 &= 134733,273 + 4789,64309 \\
 &= \mathbf{139522,916 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

\nearrow Daerah W 8

\nearrow Beban Mati

- Berat Profil \perp L 50.50.5

$$= 291,5 \text{ m} \times 7,54 \text{ kg/m} = 2197,581 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (7,54 \times 264) = 199,056 \text{ kg}$$
- Berat Profil \perp L 60.60.6

$$= 161,5 \text{ m} \times 45,60 \text{ kg/m} = 7364,053 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (45,60 \times 112) = 510,720 \text{ kg}$$
- Berat Profil \perp L 70.70.7

$$= 208,5 \text{ m} \times 7,38 \text{ kg/m} = 1538,503 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (7,38 \times 140) = 103,320 \text{ kg}$$
- Berat Profil L 50.50.5

$$= 642,3 \text{ m} \times 3,77 \text{ kg/m} = 2421,470 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (3,77 \times 13) = 4,901 \text{ kg}$$
- Berat Profil C 150.65.20.3,2

$$= 642,3 \text{ m} \times 7,51 \text{ kg/m} = 4823,671 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (7,51 \times 13) = 9,763 \text{ kg}$$
- Berat Profil $\circ \emptyset 4'$

$$= 28,85 \text{ m} \times 16,03 \text{ kg/m} = 462,506 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (16,03 \times 7) = 11,221 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{- Berat Sambungan} \\
 & = 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg} \\
 & \text{- Berat Dinding Pasangan Batu Bata} \\
 & = 58,81 \times [(0,5 \times 4,05) \times 250] = 29770,031 \text{ kg} \\
 & = 58,66 \times [(0,5 \times 4,00) \times 250] = 29329,500 \text{ kg} \\
 & \text{- Berat Dinding Geser Beton Bertulang} \\
 & = 14,68 \times [(0,5 \times 4,05) \times 250] = 7431,750 \text{ kg} \\
 & = 14,68 \times [(0,5 \times 4,00) \times 2400] = 70464,000 \text{ kg} \\
 & = \frac{7431,75 \text{ kg}}{25} + 70464,000 \text{ kg} \\
 & \mathbf{W D7 = 258097,685 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Hidup**

$$\begin{aligned}
 & \text{- } \mathbf{W L7} = q_L \text{ lantai (kg/m}^2\text{)} \times \text{luas lantai (m}^2\text{)} \times \text{faktor reduksi} \\
 & = 250 \text{ kg/m}^2 \times 194,6346 \text{ m}^2 \times 0,5 \\
 & = \mathbf{24329,328 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } \mathbf{Beban Total W 7} & = W D7 + W L7 \\
 & = 258097,6851 + 24329,328 \\
 & = \mathbf{282427,0131 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Daerah W 6 = 5 = 4 = 3**

➤ **Beban Mati**

$$\begin{aligned}
 & \text{- Berat Pelat Lantai} \\
 & = q_d \text{ lantai (kg/m}^2\text{)} \times \text{luas lantai (m}^2\text{)} \\
 & = 372,00 \text{ kg/m}^2 \times 635,130 \text{ m}^2 = 236268,518 \text{ kg} \\
 & \text{- Berat Balok Profil WF 200x100x5,5x8} \\
 & = 50,65 \text{ m} \times 21,30 \text{ kg/m} = 1078,824 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (21,30 \times 4) = 8,520 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 350x175x7x11

$$= 47,76 \text{ m} \times 49,60 \text{ kg/m} = 2368,896 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (49,60 \times 11) = 54,560 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 588x300x12x20

$$= 282,2 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 42619,599 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg}$$
- Berat Kolom Profil WF 588x300x12x20

$$= 128 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 19328,000 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Pasangan Batu Bata

$$= 274,10 \times [(0,5 \times 4,05) \times 250] = 138762,113 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Geser Beton Bertulang

$$= 14,68 \times [(0,5 \times 4,05) \times 2400] = 71344,800 \text{ kg}$$

$$= \underline{71344,8 \text{ kg}} +$$

$$\mathbf{WD = 583510,829 \text{ kg}}$$

➤ **Beban Hidup**

- $\mathbf{WL} = q_L \text{ lantai (kg/m}^2) \times \text{luas lantai (m}^2) \times \text{faktor reduksi}$

$$= 250 \text{ kg/m}^2 \times 635,130 \text{ m}^2 \times 0,5$$

$$= \mathbf{79391,303 \text{ kg}}$$

➤ **Beban Total $W_6 = 5 + 4 + 3$**

$$= WD + WL$$

$$= 583510,8289 + 79391,303$$

$$= \mathbf{662902,1319 \text{ kg}}$$

➤ Daerah W 2

➤ Beban Mati

- Berat Pelat Lantai

$$= q_d \text{ lantai (kg/m)} \times \text{luas lantai (m}^2\text{)}$$

$$= 372,00 \text{ kg/m} \times 552,335 \text{ m}^2 = 205468,529 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 200x100x5,5x8

$$= 37,15 \text{ m} \times 21,30 \text{ kg/m} = 791,274 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (21,30 \times 4) = 8,520 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 350x175x7x11

$$= 47,76 \text{ m} \times 49,60 \text{ kg/m} = 2368,896 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (49,60 \times 11) = 54,560 \text{ kg}$$
- Berat Balok Profil WF 588x300x12x20

$$= 256,5 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 38724,101 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg}$$
- Berat Kolom Profil WF 588x300x12x20

$$= 128 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 19328,000 \text{ kg}$$
- Berat Sambungan

$$= 10\% \times (151,00 \times 11) = 166,100 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Pasangan Batu Bata

$$= 274,10 \times [(0,5 \times 4,05) \times 250] = 138762,113 \text{ kg}$$
- Berat Dinding Geser Beton Bertulang

$$= 14,68 \times [(0,5 \times 4,05) \times 2400] = \underline{71344,8 \text{ kg}} +$$

$$\mathbf{WDI = 836162,815 \text{ kg}}$$

➤ **Beban Hidup**

$$\begin{aligned}
 - \text{W}_{LI} &= q_L \text{ lantai (kg/m}^2\text{)} \times \text{luas lantai (m}^2\text{)} \times \text{faktor reduksi} \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 552,335 \text{ m}^2 \times 0,5 \\
 &= \mathbf{69041,84438 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban Total W}_2 &= \text{W}_{D2} + \text{W}_{L2} \\
 &= 836162,8147 + 69041,84438 \\
 &= \mathbf{905204,6591 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Daerah W 1**

➤ **Beban Mati**

$$\begin{aligned}
 - \text{Berat Kolom Profil} & \quad \text{WF 588x300x12x20} \\
 &= 32 \text{ m} \times 151,00 \text{ kg/m} = 4832,000 \text{ kg} \\
 - \text{Berat Dinding Pasangan Batu Bata} \\
 &= 208,05 \times [(0,5 \times 4,05)] \\
 & \quad \times 250 = 105323,288 \text{ kg} \\
 - \text{Berat Dinding Geser Beton Bertulang} \\
 &= 14,68 \times [(0,5 \times 4,05)] \\
 & \quad \times 2400 = 71344,800 \text{ kg} \\
 &= \underline{71344,8 \text{ kg}} + \\
 \text{W}_{D1} &= \mathbf{252844,888 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Total Bangunan**

$$\begin{aligned}
 &= \text{W}_9 + \text{W}_8 + \text{W}_7 + \text{W}_6 + \text{W}_5 \\
 & \quad + \text{W}_4 + \text{W}_3 + \text{W}_2 + \text{W}_1 \\
 &= 139522,916 + 140950,3529 + 282427,0131 \\
 & \quad + 662902,1319 + 662902,1319 + 662902,1319 \\
 & \quad + 662902,1319 + 905204,6591 + 252844,8875 \\
 \text{W Total} &= \mathbf{4313875,948 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

➤ Waktu Getar Bangunan (T)

dengan rumus empiris :

$$T_x = T_y = 0,06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

$$\text{Tinggi bangunan } H = 28 \text{ m}$$

$$\text{Bentang memanjang (A)} = 40,8 \text{ m}$$

$$\text{Bentang melintang (B)} = 19 \text{ m}$$

$$T_x = T_y = 0,06 \cdot 28^{\frac{3}{4}}$$

$$= 0,73 \text{ detik}$$

➤ Koefisien Gempa dasar (C)

Untuk daerah malang termasuk pada zona 3

Untuk $T_x = T_y = 0,7303$ detik, zone 3 dan jenis tanah lunak

$$\text{, diperoleh } C = 0,07$$

➤ Faktor Keamanan 1 dan Faktor Jenis Struktur K

Diperoleh $I = 1,5$ dan $K = 1,0$ untuk bangunan gedung pusat

kegiatan fakultas hukum universitas brawijaya malang yang menggunakan

struktur rangka baja dengan daktilitas penuh.

➤ Gaya Geser Horizontal Total Akibat Gempa.

$$V_x = V_y = C \cdot K \cdot W_{\text{Total}}$$

$$= 0,07 \cdot 1,0 \cdot 4313875,948$$

$$= 261181,0095 \text{ kg}$$

➤ Distribusi Gaya Geser Horizontal Total Akibat Ke Sepanjang

Tinggi Gedung

a. Arah X

$$\frac{H}{A} = \frac{28}{40,8} = 0,686 < 3$$

$$F_{i,x} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V_x$$

a. Arah Y

$$\frac{H}{B} = \frac{28}{19} = 1,474 < 3$$

$$F_{i,y} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V_y$$

dengan :

F_i = Gaya geser horizontal akibat gempa pada lantai ke i

h_i = Tinggi lantai i terhadap lantai dasar

$V_{x,y}$ = Gaya geser horizontal total akibat gempa untuk arah X dan Y

A, B = Panjang sisi bangunan dalam arah X dan Y .

Tabel 4.2. distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung dalam arah X dan Y untuk tiap portal.

Tingkat	h_i (m)	W_i (kg)	$W_i \cdot h_i$ (kgm)	$F_{i,x,y}$ total (kg)	Untuk Tiap Portal	
					$\frac{1}{4} F_{i,x}$ (kg) (30%)	$\frac{1}{10} F_{i,y}$ (kg) (100%)
7	28	562.900,3	15.761.208	75.770,9	5.492,45	7.577,09
6	25	440.195,9	11.004.897	53.488,8	4.011,66	5.348,88
5	21	440.195,9	9.244.113	44.930,6	3.369,80	4.493,06
4	17	440.195,9	7.483.330	36.022,3	2.727,93	3.637,24
3	13	440.195,9	5.722.546	27.546,5	2.065,99	2.781,42
2	9	440.195,9	3.961.763	19.256,0	1.444,20	1.925,60
1	5	252.844,9	1.264.224	6.086,4	456,48	608,64
		Σ	54.258.136	261.181,0	19.588,58	26.371,93

4.5. BEBAN ANGIN

$$W_{\text{Angin}} = 25 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPIUG. 1997, Hal 22)}$$

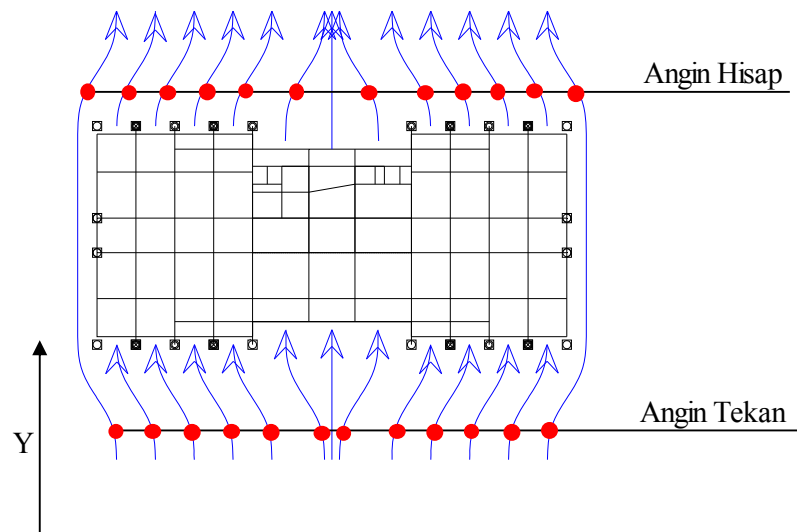
koefisien angin (C)

$$C = 0,9 \text{ (untuk angin tekan)}$$

$$C = 0,4 \text{ (untuk angin hisap)}$$

$$W = \text{Koef. Angin} \times W_{\text{angin}} \times \text{jarak portal} \times \text{tinggi gedung}$$

➤ Portal Melintang



Gambar 4.14 : Portal Melintang

➤ Angin Tekan Arah Y

➤ Jarak Portal di Line A-A dan C-C

$$\text{- Angin Tekan (} L = 8 \text{ m)}$$

$$\text{- } W_{\text{Lt. Dasar}}$$

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 5 = 900 \text{ kg}$$

$$\text{- } W_{\text{Lt. 2}}$$

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

$$\text{- } W_{\text{Lt. 3}}$$

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. 4

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$
- W Lt. 5

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$
- W Lt. 6

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$
- W Lt. atap

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 3 = 540 \text{ kg}$$

➤ Jarak Portal di Line C-C dan D-D

- Angin Tekan (L = 3 m)
- W Lt. Dasar

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 5 = 337,5 \text{ kg}$$
- W Lt. 2

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 4 = 270 \text{ kg}$$
- W Lt. 3

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 4 = 270 \text{ kg}$$
- W Lt. 4

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 4 = 270 \text{ kg}$$
- W Lt. 5

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 4 = 270 \text{ kg}$$
- W Lt. 6

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 4 = 270 \text{ kg}$$
- W Lt. atap

$$= 0,9 \times 25 \times 3 \times 3 = 202,5 \text{ kg}$$

➤ Jarak Portal di Line D-D dan F-F

- Angin Tekan (L = 8 m)
- W Lt. Dasar

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 5 = 900 \text{ kg}$$
- W Lt. 2

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. 3

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. 4

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. 5

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. 6

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 4 = 720 \text{ kg}$$

- W Lt. atap

$$= 0,9 \times 25 \times 8 \times 3 = 540 \text{ kg}$$

➤ Angin Hisap Arah Y

➤ Jarak Portal di Line A-A dan C-C

- Angin Hisap (L = 8 m)

- W Lt. Dasar

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 5 = 400 \text{ kg}$$

- W Lt. 2

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. 3

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. 4

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. 5

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. 6

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. atap

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 3 = 240 \text{ kg}$$

➤ Jarak Portal di Line C-C dan D-D

- Angin Hisap (L = 3 m)
- W Lt. Dasar

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 5 = 150 \text{ kg}$$
- W Lt. 2

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 4 = 120 \text{ kg}$$
- W Lt. 3

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 4 = 120 \text{ kg}$$
- W Lt. 4

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 4 = 120 \text{ kg}$$
- W Lt. 5

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 4 = 120 \text{ kg}$$
- W Lt. 6

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 4 = 120 \text{ kg}$$
- W Lt. Atap

$$= 0,4 \times 25 \times 3 \times 3 = 90 \text{ kg}$$

➤ Jarak Portal di Line D-D dan F-F

- Angin Hisap (L = 8 m)
- W Lt. Dasar

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 5 = 400 \text{ kg}$$
- W Lt. 2

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$
- W Lt. 3

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$
- W Lt. 4

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$
- W Lt. 5

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$
- W Lt. 6

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 4 = 320 \text{ kg}$$

- W Lt. Atap

$$= 0,4 \times 25 \times 8 \times 3 = 240 \text{ kg}$$

4.6. HASIL ANALISIS SIMPANGAN

Dari analisis software SAP2000 v17 didapat simpangan yang terjadi pada masing-masing lantai :

Tabel 4.3: Pembacaan simpangan antar tingkat dalam (mm).

Elevasi	Simpangan U1
26000	20,9949
21000	20,9949
17000	19,2462
13000	16,3253
9000	12,5397
5000	8,1585

Kontrol simpangan antar tingkat

Persyaratan simpangan antar tingkat struktur gedung tidak boleh melebihi 2.0% dari jarak antar tingkat (SNI 03-1726-2002), maka :

$$\Delta a < 0,02 \text{ hsx}$$

$$\Delta a < 0,02 \times 4000 \text{ dan } 0,02 \times 5000$$

$$\Delta a < 80 \text{ dan } 100$$

Tabel 4.4 : Perhitungan antar tingkat arah X dalam (mm)

Elevasi	Simpangan U1	Perpindahan	Story Drift	Story Drift zin (0,02 hsx)	Story Drift < Δa
26000	20,9949	0	3,2000	80	OK
21000	20,9949	1,7487	5,59584	80	OK
17000	19,2462	2,9209	9,34688	80	OK
13000	16,3253	3,7856	12,11392	80	OK
9000	12,5397	4,3812	14,01984	80	OK
5000	8,1585	8,1585	26,1072	100	OK

Nilai perpindahan elastis dari program bantu SAP2000 v17 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada lantai 5, yaitu 20,9949 mm. Jadi nilai $\delta_5 = 20,9949 \text{ mm}$

Nilai perpindahan elastis dari program bantu SAP2000 v17 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada lantai 4, yaitu 19,2462 mm. Jadi nilai $\delta_4 = 19,2462 \text{ mm}$

Hitung simpangan atau perpindahan antar lantai untuk lantai 5 yaitu dengan pers.:
 $(\delta_5 - \delta_4) = (20,9949 - 19,2462) = 1,75 \text{ mm}$

Hitung nilai perpindahan antar lantai story drift yang diperbesar, yaitu :

$$\frac{(20,9949 - 19,2462) \cdot C_d}{I_e} = \frac{(20,9949 - 19,2462) \cdot 4}{1,25}$$

$$= 5,59584 \text{ mm}$$

Hitung nilai batas untuk simpangan antarlantai (story drift) Δa yang terdapat pada tabel diatas untuk lantai 5

$$\Delta a < 0,02 h_{sx}$$

$$\Delta a < 0,02 \times 4000$$

$$\Delta a < 80 \text{ mm}$$

Cek nilai simpangan (Story Drift) pada lantai 5, yaitu :

$$5,59584 < 80 \quad \text{OK}$$

BAB V

PERENCANAAN

5.1. Perhitungan Momen Portal *Frame*

Perhitungan Momen digunakan program bantu SAP2000 v17 Ultimate untuk mendapatkan nilai-nilai momen struktur *frame* yang diakibatkan beban mati termasuk berat sendiri, beban hidup, beban angin, beban gempa dan beban hidup atap dengan menggunakan :

Profil Kolom : WF 588x300x12x20

Profil Balok Induk B.33 : WF 588x300x12x20

Profil Balok Induk B.40 : WF 350x175x7x11

5.2. Perhitungan Balok Kolom Profil WF

Perhitungan Kolom

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dengan menggunakan program bantu SAP2000 v17.1.1 Ultimate sebesar :

Kolom (No. Batang 5)

$$N_u = 245,465 \text{ kN}$$

$$M_u = 143,732 \text{ kN.m}$$

$$L = 4,00 \text{ m}$$

Balok Induk (No. Batang 33)

$$V_u = 318,317 \text{ kN}$$

$$M_u = 489,42 \text{ kN.m}$$

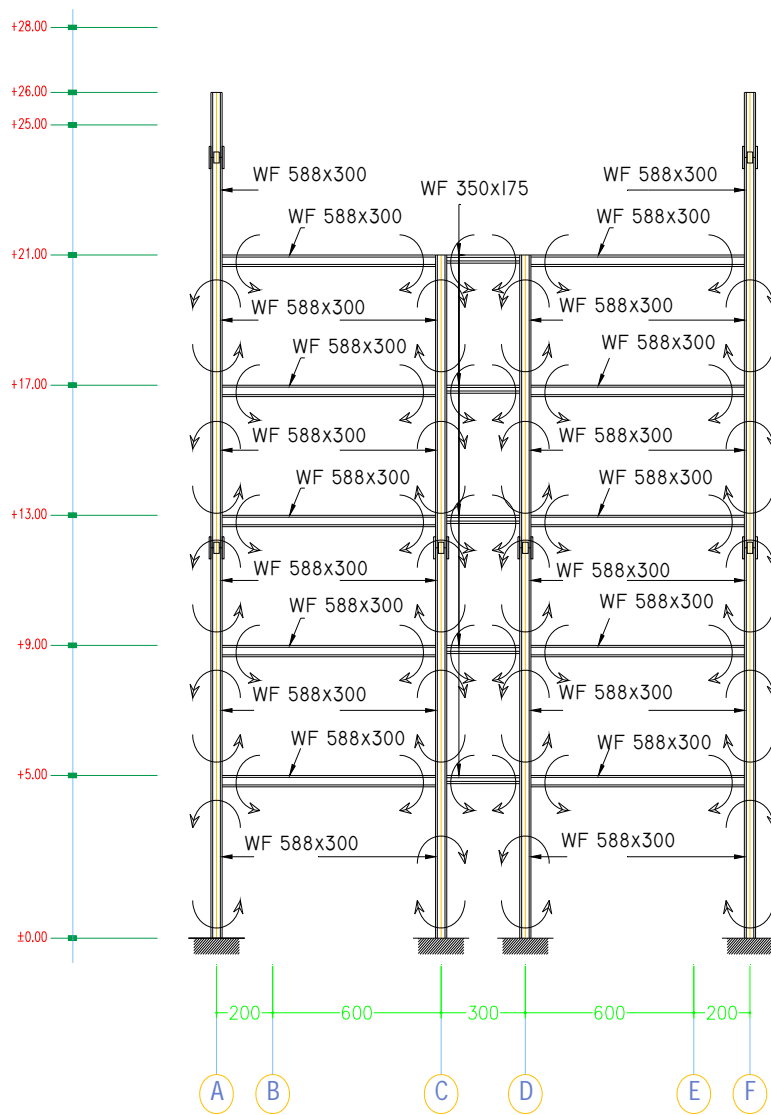
$$L = 8,00 \text{ m}$$

Balok Induk (No. Batang 40)

$$V_u = 26,534 \text{ kN}$$

$$M_u = 14,263 \text{ kN.m}$$

$$L = 3,00 \text{ m}$$



Gambar 5.1 : Portal Frame

Dicoba dengan profil : (Kolom) WF 588x300x12x20

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

$$d = 588 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 20 \text{ mm}$$

$$r_o = 28 \text{ mm}$$

$$h = d - 2 \cdot (t_f + r_o) = 492,0 \text{ mm}$$

$$S_x = 4020 \text{ mm}$$

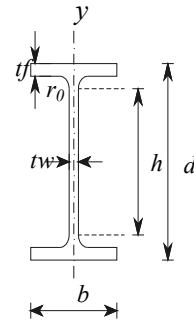
$$r_x = 248,0 \text{ mm}$$

$$r_y = 68,5 \text{ mm}$$

$$A_g = 19250,0 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1.180.000.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 90.200.000 \text{ mm}^4$$



Dicoba dengan profil : (Balok Induk B.33) WF 588x300x12x20

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

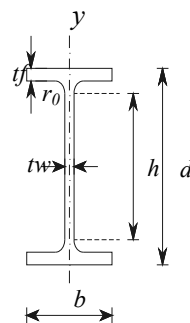
$$d = 588 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 20 \text{ mm}$$

$$r_o = 28 \text{ mm}$$



$$h = d - 2.(tf + r_o) = 492,0 \text{ mm}$$

$$S_x = 4020 \text{ mm}$$

$$r_x = 248,0 \text{ mm}$$

$$r_y = 68,5 \text{ mm}$$

$$A_g = 19250,0 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1.180.000.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 90.200.000 \text{ mm}^4$$

Dicoba dengan profil : (Balok Induk B.40) WF 350x175x7x11

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

$$d = 350 \text{ mm}$$

$$b = 175 \text{ mm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm}$$

$$r_o = 14 \text{ mm}$$

$$h = d - 2.(tf + r_o) = 300,0 \text{ mm}$$

$$S_x = 775 \text{ mm}$$

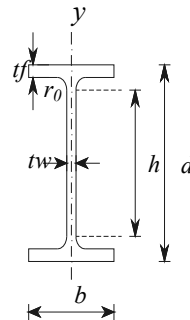
$$r_x = 147,0 \text{ mm}$$

$$r_y = 39,5 \text{ mm}$$

$$A_g = 6314,0 \text{ mm}^2$$





$$I_x = 136.000.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 9.840.000 \text{ mm}^4$$



5.2.1 Perhitungan Dimensi kolom balok

Faktor panjang efektif k_x , ditentukan dengan menggunakan faktor G .

Garis terputus menunjukkan posisi	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai k_c teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k_c desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Keterangan kode ujung	 (jepit)  (sendi)  (rol tanpa)  (ujung bebas)					

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan*, hal: 57)

Gambar 5.2 : Faktor panjang efektif

Kondisi tumpuan jepit-sendiri

$$G_A = 0,8$$

Tabel 5.1 : Faktor kekakuan masing-masing elemen .

Elemen	Profil	$I (cm^4)$	$L(cm)$	I/L
1;8;15;22	WF 588x300x12x20	118000	500	236,00
2;3;4;5	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
9;10;11;12	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
16;17;18;19	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
23;24;25;26	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
6;7	WF 588x300x12x20	118000	500	236,00
29;30;31;32	WF 588x300x12x20	118000	800	147,50
33;43;44;45	WF 588x300x12x20	118000	800	147,50
46;47	WF 588x300x12x20	118000	800	147,50
36;37;38;39	WF 350x175x7x11	13600	300	45,33
40	WF 350x175x7x11	13600	300	45,33

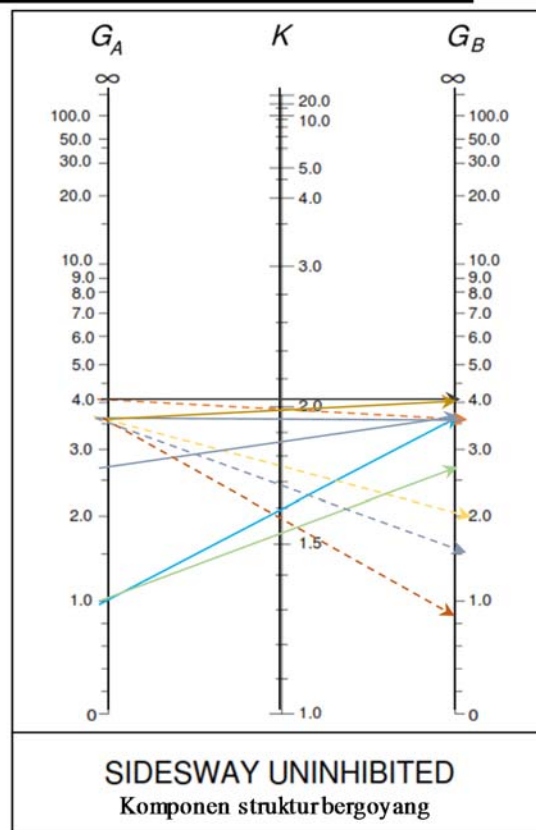
(ref : 2.6.3.1)

Tabel 5.2 : Tiap-tiap joint.

Joint	$S (I/L)c / S (I/L)b$	G
1	-	1
2	$(236 + 295) / 147,5$	3,6
3	$(295 + 295) / 147,5$	4
4	$(295 + 295) / 147,5$	4
5	$(295 + 295) / 147,5$	4
6	$(295 + 236) / 147,5$	3,6
7	-	0,8
8	-	0,8
9	-	1
10	$(236 + 295) / (147,5 + 45,333)$	2,754
11	$(295 + 295) / (147,5 + 45,333)$	3,06
12	$(295 + 295) / (147,5 + 45,333)$	3,06
13	$(295 + 295) / (147,5 + 45,333)$	3,06

14	$295 / (147,5 + 45,333)$	1,53
17	-	1
18	$(236 + 295) / (45,333 + 147,5)$	2,754
19	$(295 + 295) / (45,333 + 147,5)$	3,06
20	$(295 + 295) / (45,333 + 147,5)$	3,06
21	$(295 + 295) / (45,333 + 147,5)$	3,06
22	$295 / (147,5 + 45,333)$	1,53
25	-	1
26	$(236 + 295) / 147,5$	3,6
27	$(295 + 295) / 147,5$	4
28	$(295 + 295) / 147,5$	4
29	$(295 + 295) / 147,5$	4
30	$(295 + 236) / 147,5$	3,6

(ref : 2.6.3.1)



Gambar 5.3. Monogram faktor panjang tekuk

(Sumber: AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstruction, second edition; Column Design 3-6)

Dari nomogram didapat nilai k faktor panjang tekuk

Tabel 5.3 : Faktor panjang efektif, k , masing-masing kolom.

Kolom	GA	GB	k
1	1	3,6	1,53
2	3,6	4	2
3	4	4	2,02
4	4	4	2,02
5	4	3,6	2
6	3,6	0,8	1,54
7	3,6	0,8	1,54
8	1	2,754	1,52
9	2,754	3,06	1,57
10	3,06	3,06	1,58
11	3,06	3,06	2,58
12	3,06	1,53	1,54
15	1	2,754	1,52
16	2,754	3,06	1,52
17	3,06	3,06	1,58
18	3,06	3,06	2,58
19	3,06	1,53	1,54
22	1	3,6	1,53
23	3,6	4	2
24	4	4	2,02
25	4	4	2,02
26	4	3,6	2

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Kolom) WF 588x300x12x20

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,500 < 16,137 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{492,00}{12} = 41,000$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$41,000 < 42,926 \quad \text{Penampang Kompak}$$

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Balok Induk B.33) WF 588x300x12x20

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{588}} = 10,310$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,500 < 10,310 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{492,00}{12} = 41,000$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$41,000 < 42,926 \quad \text{Penampang Kompak}$$

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Balok Induk B.40) WF 350x175x7x11

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(175 / 2)}{11} = 7,955$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{7}} = 94,491$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,955 < 94,491 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{300,00}{7} = 42,857$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$42,857 < 42,926 \quad \text{Penampang Kompak}$$

5.2.2. Aksi kolom

Kelangsingan pada arah sumbu bahan.

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L}{r_x} ; \lambda_y = \frac{k \cdot L}{r_y}$$

dimana L : panjang komponen struktur tekan

k : faktor panjang tekuk

r_x, r_y : jari-jari girasi komponen struktur

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 61*)

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L}{i_y} = \frac{2 \times 4000,00}{68,50} = 116,788$$

$$\lambda_c = \frac{k \cdot L}{\pi \cdot r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{116,788}{3,142} \sqrt{\frac{240,0}{200.000}} = 1,288$$

(ref:2.6.2.3)

Besarnya ω ditentukan nilai λ_c .

$$\lambda_c < 0,25 \quad \text{maka} \quad \omega = 1 \quad (\text{ref:2.6.2.5a})$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \quad (\text{ref:2.6.2.5b})$$

$$\lambda_c > 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (\text{ref:2.6.2.5c})$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 57*)

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 1,25 \cdot 1,288^2 = 2,073$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (\text{ref: 2.6.1.2})$$

$$= 19250,00 \times \frac{240}{2,073} = 2.228.700,091 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{245.465,000}{0,85 \times 2.228.700,090}$$

$$= 0,13 < 0,2 \quad (\text{ref: 2.6.4.1})$$

(Sumber; *SNI 03-1729-2002. hal. 24 pasal. 7.4.3.3*)

5.2.3. Aksi balok

Periksa penampang kompak atau tidak

$$\lambda = \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$7,500 < 10,973 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (M_u / \phi b) \\ &= (143732 \text{ N.m} / 0,9) \\ &= 159.702 \text{ N.m} = 159.702.222 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + (1/4 \cdot t_w) \cdot (d - 2t_f)^2 \\ &= 300 \cdot 20 (588 - 20) + (1/4 \cdot 12) \cdot (588 - 2 \cdot 20)^2 \\ &= 3.404.964 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y & \phi b \cdot M_{nx} &= 0,9 \cdot M_p \\ &= 3404964 \text{ mm}^3 \times 240 \text{ N/mm}^2 & &= 0,9 \cdot 817191360 \text{ N.mm} \\ &= 817.191.360 \text{ N.mm} & &= 735.472.224 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Perbesaran Momen (δ_b)

Untuk menghitung (δ_b) diperlukan rasio kelangsingan dari portal bergoyang bergoyang.

$$\frac{k \cdot L}{r_x} = \frac{2 \times 4000}{248,00} = 32,258$$

Didapat nilai momen (M_1) dan momen (M_2) dari program bantu SAP2000 v17

Ultimate sebagai berikut :

$$M_1 = 11.274 \text{ kg.m} = 110,563 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = 11.274 \text{ kg.m} = 110,563 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1 / M_2) && (ref : 2.6.5.3) \\ &= 0,6 - 0,4 (110,563 / 110,563) \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{el} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{((k.L)/r)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000 \times 19250}{32,258^2} \\ &= 1.162.342,158 \text{ N} \end{aligned}$$

$$N_u = 245465,0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \delta_b &= \frac{C_m}{1 - (N_u / N_{el})} = \frac{0,2}{1 - (245465 / 1162342,158)} \\ &= 0,254 < 1,0 && (ref : 2.6.5.2) \end{aligned}$$

Diambil (δ_b) sebesar 1,0

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M \\ &= 1,0 \cdot 143732 \\ &= 143732 \text{ N.m} = 143.732.000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \leq 0,2 \quad (ref : 2.6.4.3)$$

$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} \right) \leq 1 \quad (ref : 2.6.4.4)$$

$$2 \cdot 0,13 + \left(\frac{143.732.000}{735.472.224} \right) \leq 1 = 0,26 \leq 1,0$$

Jadi profil WF 588x300x12x20 mencukupi untuk memikul beban sesuai dengan LRFD.

5.3 Desain Penampang Castella

Profil awal adalah WF 588x300x12x20 Balok Induk (No. Batang 33)

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y(\sigma) = 240,00 \text{ MPa} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$V_u = 318,317 \text{ kN}$$

$$M_{tumpuan} = 489,4198 \text{ kN.m}$$

Data profil :

$$d = 588 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

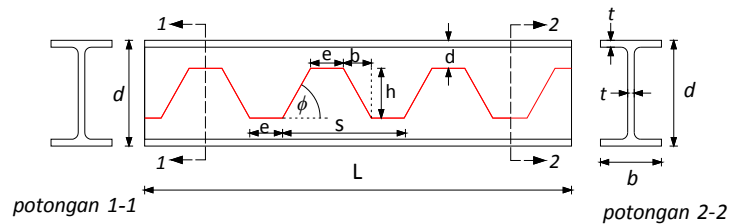
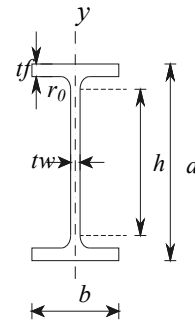
$$t_w = 12 \text{ mm} \quad r_x = 248,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 20 \text{ mm} \quad r_y = 68,5 \text{ mm}$$

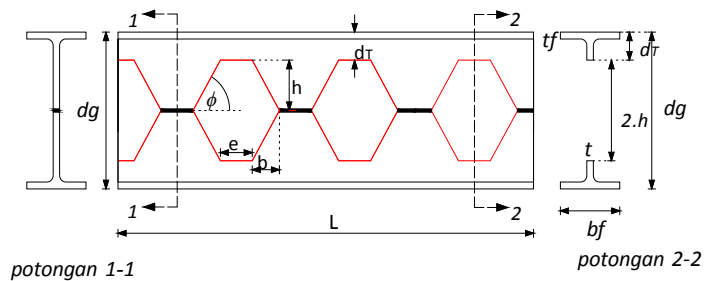
$$r_o = 28 \text{ mm} \quad A_g = 19250,0 \text{ mm}^2$$

$$h = d - 2 \cdot (t_f + r_o) \quad I_x = 1.180.000.000,0 \text{ mm}^4$$

$$= 492,0 \text{ mm} \quad I_y = 90.200.000,0 \text{ mm}^4$$



Gambar 5.4. Geometrik hasil potongan



Gambar 5.5. Pola penyusunan balok Castella segi enam

(Sumber; Design of Welded Structures; Omer W. Blodgett ; 4.7-2)

Tinggi balok castella (Deign of Welded Structures: hal 4.7-15)

Modulus penampang balok castella yang diperlukan

$$S_g = \frac{M}{\sigma} = \frac{489.419.800}{240} = 2.039.249 \text{ mm}^3 \quad (\text{ref:2.4.3.4})$$

K_1 , merupakan perbandingan tinggi balok castella dengan balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \text{ di asumsikan besarnya } K_1 = 1,5 \quad (\text{ref:2.4.3.5})$$

Tinggi pemotongan zig-zag (h) balok castella

$$\begin{aligned} h &= d_b (K_1 - 1) \\ &= 588 (1,5 - 1) \\ &= 294,00 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.6})$$

Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan

$$d_T \geq \frac{V}{2 \cdot t_w \cdot \sigma} = \frac{318.317.000}{2 \cdot 12 \cdot 0,4 \cdot 240} = 138,16 \text{ mm} \quad (\text{ref:2.4.3.7})$$

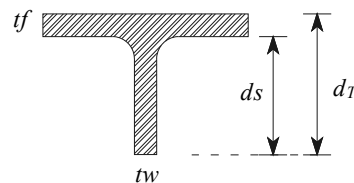
$$\begin{aligned} h &= d_b - 2 \cdot d_T \\ &= 588 - 2 \cdot 138,158 \\ &= 311,68 \text{ mm} \geq 138,158 \text{ mm} \quad (\text{Aman}) \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.8})$$

Tinggi balok castella

$$\begin{aligned} d_g &= d_b + h \\ &= 588 + 294 \\ &= 882,00 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.9})$$

Tinggi penampang T castella

$$\begin{aligned} d_T &= (d_g/2) - h \\ &= (882/2) - 294 \\ &= 147,00 \text{ mm} \end{aligned}$$



Tinggi web penampang T castella

$$\begin{aligned} d_s &= d_T - t_f \\ &= 147 - 20 \\ &= 127,00 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.11})$$

Tegangan lentur tekan yang diijinkan pada plat badan castella

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,43}{C_c^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot f_y \quad (\text{ref:2.4.3.12})$$

dimana

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 2,0 \times 10^5}{240}} \\ &= 128,25 \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.13})$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= 1 - \left(\frac{10,434}{16449,34} \left(\frac{294}{12} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot 240 \\ &= 133,759 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Besarnya tegangan lentur yang terjadi harus dalam batas yang diijinkan.

Tegangan geser pada bagian web yang berlubang ditentukan dengan

rumus. (*Deign of Welded Structures: hal 4.7-13*)

$$\begin{aligned} \phi &= 45^\circ \quad \theta = 45^\circ \\ \sigma_v &= \frac{4 \cdot ((\pi \cdot \theta)/180^\circ)^2 \cdot \bar{\sigma}}{3 \cdot \tan \theta} \leq 0,9 \cdot 240 \quad (\text{ref:2.4.3.14a}) \\ &= \frac{2,467 \times 133,759}{3,000} \leq 216,00 \text{ N/mm}^2 \\ &= 110,012 \text{ N/mm}^2 \leq 216,00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk tegangan maksimum

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 1,16 \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} && (ref:2.4.3.14b) \\ &= 1,16 \frac{302401,15 \text{ N}}{12 \text{ mm} \cdot 882 \text{ mm}} \\ &= 33,143 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tegangan geser maksimum pada potongan badan solid castella.

$$K_2 = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = \frac{e}{s} = \frac{33,143}{110,012} = 0,301 \quad (ref:2.4.3.15)$$

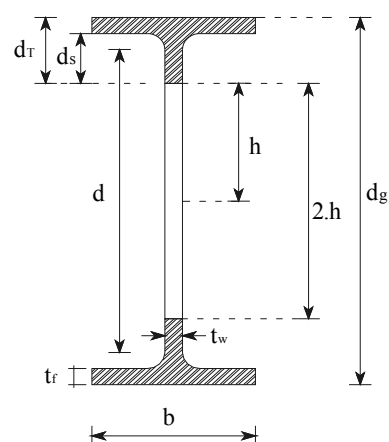
$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \theta}{(1/K_2) - 2} \quad (ref:2.4.3.16)$$

$$e \geq \frac{2 \times 294,000}{(1/0,301) - 2} = 445,682 \text{ mm}$$

diambil e sebesar = 446 mm

Perluasan penampang T dari balok castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)



$$\begin{aligned}A_T &= A_f + A_s && (ref:2.4.3.17) \\ &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w \\ &= 300 \cdot 20 + 127 \cdot 12 \\ &= 6000 + 1524 \\ &= 7.524 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Untuk tegangan maksimum

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 1,16 \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} && (ref:2.4.3.14b) \\ &= 1,16 \frac{302401,15 \text{ N}}{12 \text{ mm} \cdot 882 \text{ mm}} \\ &= 33,143 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tegangan geser maksimum pada potongan badan solid castella.

$$K_2 = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = \frac{e}{s} = \frac{33,143}{110,012} = 0,301 \quad (ref:2.4.3.15)$$

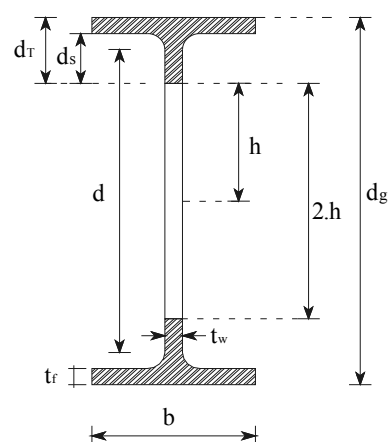
$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \theta}{(1/K_2) - 2} \quad (ref:2.4.3.16)$$

$$e \geq \frac{2 \times 294,000}{(1/0,301) - 2} = 445,682 \text{ mm}$$

diambil e sebesar = 446 mm

Perluasan penampang T dari balok castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)



$$\begin{aligned}A_T &= A_f + A_s && (ref:2.4.3.17) \\ &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w \\ &= 300 \cdot 20 + 127 \cdot 12 \\ &= 6000 + 1524 \\ &= 7.524 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Momen Inersia penampang castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned} I_g &= 2 \cdot I_t + ((A_T \cdot d^2) / 2) & (ref:2.4.3.26) \\ &= 2 \cdot 8813794,876 + ((7524 \cdot 832,225^2) / 2) \\ &= 2.623.182.212,000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Modulus tahanan penampang castella

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{2 \cdot I_g}{d_g} & (ref:2.4.3.27) \\ &= \frac{2 \cdot 2.623.182.212,000}{882,00} \\ &= 5.948.258,984 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

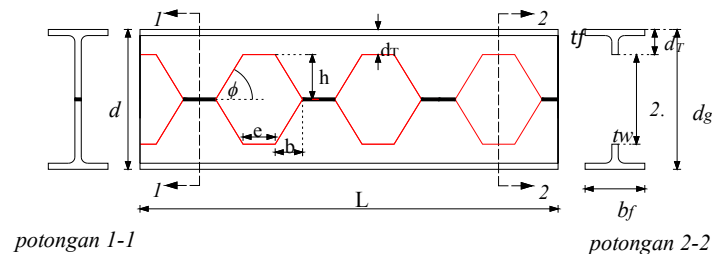
Jarak interval lubang segi enam penampang castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned} s &= 2 \cdot (e + h \cdot \tan \theta) & (ref:2.4.3.28) \\ &= 2 \cdot (446 + 294,000) \\ &= 1480,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil peninggian penampang profil WF menjadi penampang castella

$$\begin{aligned} d_g &= 882,00 \text{ mm} & e &= 446,00 \text{ mm} \\ d_T &= 147,00 \text{ mm} & b &= 294,0 \text{ mm} \\ h &= 294,00 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 5.6. Penampang Castella segi enam

(Sumber; Design of Welded Structures; Omer W. Blodgett ; 4.7-2)

Tegangan lentur sekunder yang diijinkan penampang castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-18)

$$\sigma = \left[1 - \frac{2,609}{C_c^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right] \cdot 0,9 \cdot f_y \quad (\text{ref:2.4.3.12})$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \left[1 - \frac{2,609}{16449,34} \left(\frac{294}{12} \right)^2 \right] 0,9 \cdot 240 \\ &= 195,436 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan lentur sekunder

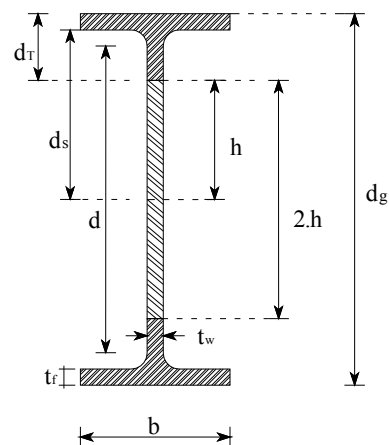
(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_s} \\ &= \frac{302.401 \cdot 446}{4 \cdot 72.178} \\ &= 467 \text{ N/mm}^2 \geq 195,436 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tidak Aman}) \end{aligned}$$

Dicoba dengan menutup lubang pada castella.

Perluasan penampang T dari balok castella lubang tertutup

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)



$$\begin{aligned} A_T &= A_f + A_s \quad (\text{ref:2.4.3.17}) \\ &= b \cdot t_f + ((d_s + h) \cdot t_w) \\ &= 300 \cdot 20 + ((127 + 294) \cdot 12) \\ &= 6000 + 5052 \\ &= 11.052 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Modulus Kelembaman penampang T castella lubang tertutup

$$\begin{aligned}
 W_T &= A_f ((d_s + h) + (t_f/2)) + A_s ((d_s + h)/2) & (ref:2.4.3.20) \\
 &= 6000 ((127+294) + (20/2)) + 5052 (421/2) \\
 &= (6000 \times 431) + 1063446 \\
 &= 3.649.446 \quad \text{mm}^3
 \end{aligned}$$

Momen Inersia penampang T castella lubang tertutup (ref:2.4.3.21)

$$\begin{aligned}
 I_T &= A_f ((d_s + h)^2 + ((d_s + h) \cdot t_f) + (t_f^2/3)) + A_s ((d_s + h)^2/3) \\
 &= 6000 ((127+294)^2 + ((127+294) \cdot 20) + (20^2/3)) + \\
 &\quad 5052 ((127+294)^2/3) \\
 &= (6000 \times 185794,333) + 298473844 \\
 &= 1413239842 \quad \text{mm}^4
 \end{aligned}$$

Jarak titik berat penampang T dari ujung tangkai penampang T lubang tertutup

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$C_s = \frac{W_T}{A_T} = \frac{3.649.446}{11.052} = 330,207 \quad \text{mm} \quad (ref:2.4.3.22)$$

Momen Inersia tangkai penampang T castella lubang tertutup

$$\begin{aligned}
 I_t &= I_T - C_s \cdot W_T & (ref:2.4.3.23) \\
 &= 1413239842 \text{ mm}^4 - (330,207 \text{ mm} \cdot 3.649446 \text{ mm}^3) \\
 &= 208.167.809,163 \quad \text{mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus tahanan tangkai penampang T lubang tertutup (ref:2.4.3.24)

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} = \frac{208.167.809 \quad \text{mm}^4}{330,207 \quad \text{mm}} = 630.416,40 \quad \text{mm}^3$$

Jarak antara titik berat penampang T atas dan bawah

$$\begin{aligned}
 d &= 2 \cdot C_s & (ref:2.4.3.25) \\
 &= 2 \cdot 330,207 \text{ mm} \\
 &= 660,414 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

Momen Inersia penampang castella lubang tertutup

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned} I_g &= 2 \cdot I_t + ((A_T \cdot d^2) / 2) & (ref:2.4.3.26) \\ &= 2 \cdot 208167809,163 + ((11052 \cdot 660,414^2) / 2) \\ &= 2.826.479.684,000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Modulus tahanan penampang castella

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{2 \cdot I_g}{d_g} & (ref:2.4.3.27) \\ &= \frac{2 \cdot 2.826.479.684,000}{882,00} \\ &= 6.409.250,984 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Tegangan lentur sekunder yang diijinkan penampang castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-18)

$$\begin{aligned} \sigma &= \left(1 - \frac{2,609}{C_c^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot f_y & (ref:2.4.3.12) \\ \sigma &= \left(1 - \frac{2,609}{16449,34} \left(\frac{294}{12} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot 240 \\ &= 195,436 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan lentur sekunder

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_s} \\ &= \frac{302.401 \cdot 446}{4 \cdot 630.416} \\ &= 53 \text{ N/mm}^2 \leq 195,436 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Tegangan lentur primer ditengah bentang penampang castella

Tegangan tarik dan desak

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F}{A_T} = \frac{M}{d \cdot A_T} \\ &= \frac{489.419.800}{660,414 \times 11.052} \\ &= 67,05 \text{ N/mm}^2 \leq 195,436 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Kontrol tegangan total

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{total}} &= 53,485 + 67,05 \leq 195,436 \text{ N/mm}^2 \\ &= 120,539 \text{ N/mm}^2 \leq 195,436 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Tegangan lentur sekunder pada bagian plat badan profil T karena

geser (Ig) vertikal (V), ditambah tegangan lentur utama pada profil

T karena terkena momem (M).

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M \cdot h}{I_g} + \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_s} \quad (\text{ref : 2.4.3.2}) \\ &= \frac{489.419.800 \times 294}{2.826.479.684,000} + 53,48 \\ &= 104,392 \text{ N/mm}^2 \\ 104,392 \text{ N/mm}^2 &\leq 195,436 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Kontrol web crippling (lipatan pada plat badan)

Kondisi dimana tanpa penumpu dihitung berdasarkan momen nominal.

$$\phi M_n = 735.472.224,000 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \phi M_n / L \\
 &= 735.472.224 / 8.000 \\
 &= 91.934,03 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dicoba tanpa pengaku, N (panjang pengaku) = 0 mm

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi 0,68 t_w^2 (1 + 3 (N/d) \cdot (t_w/t_f)^{1,5}) \sqrt{\frac{f_y \cdot t_f}{t_w}} \\
 &= 0,75 \cdot 0,68 \cdot 12^2 (1 + 3 (0/882) \cdot (12/20)^{1,5}) \sqrt{\frac{240 \cdot 20}{12}} \\
 &= 73,440 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n > P_u$$

$$73,440 \text{ N} < 91.934,03 \text{ N} \quad (\text{Tidak Aman})$$

Maka harus di pengaku pada sambungan

Dicoba dengan pengaku, N = 786 mm

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi 0,68 t_w^2 (1 + 3 (N/d) \cdot (t_w/t_f)^{1,5}) \sqrt{\frac{f_y \cdot t_f}{t_w}} \\
 &= 0,75 \cdot 0,68 \cdot 12^2 (1 + 3 (786/882) \cdot (12/20)^{1,5}) \sqrt{\frac{240 \cdot 20}{12}} \\
 &= 1.898,448 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n > P_u$$

$$1.898,448 \text{ N} < 91.934,03 \text{ N} \quad (\text{Tidak Aman})$$

Maka harus di pengaku pada sambungan dan penebalan pada pelat badan web.

Dicoba tanpa pengaku, $N = 786 \text{ mm}$

Pelat penebalan = 40 mm

$t_w + \text{pelat penebalan} = 12 + 40 = 52 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi 0,68 t_w^2 (1 + 3 (N/d) \cdot (t_w/t_f)^{1,5}) \sqrt{\frac{f_y \cdot t_f}{t_w}} \\ &= 0,75 \cdot 0,68 \cdot 52^2 (1 + 3 (786/882) \cdot (52/20)^{1,5}) \sqrt{\frac{240 \cdot 20}{52}} \\ &= 149.880,611 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\phi P_n > P_u$$

$$149.880,611 \text{ N} > 91.934,03 \text{ N} \quad (\text{Aman})$$

Profil awal adalah WF 350x175x7x11 Balok Induk (No. Batang 40)

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y(\sigma) = 240,00 \text{ MPa} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 26,534 \text{ kN}$$

$$M_{tumpuan} = 14,2615 \text{ kN.m}$$

Data profil :

$$d = 350 \text{ mm}$$

$$b = 175 \text{ mm}$$

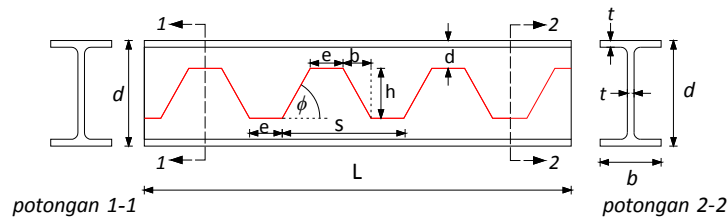
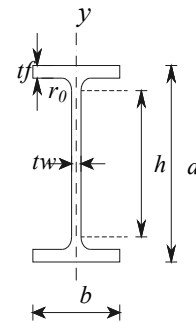
$$t_w = 7 \text{ mm} \quad r_x = 147,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \quad r_y = 39,5 \text{ mm}$$

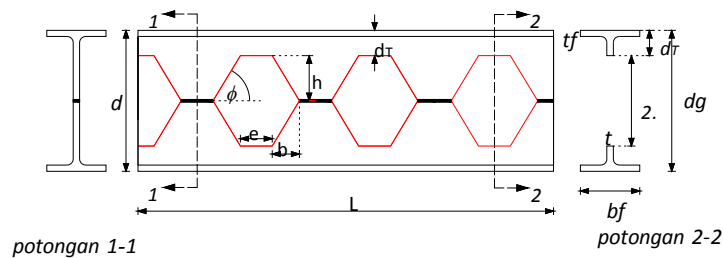
$$r_o = 14 \text{ mm} \quad A_g = 6314,0 \text{ mm}^2$$

$$h = d - 2.(t_f + r_o) \quad I_x = 136.000.000,0 \text{ mm}^4$$

$$= 300,0 \text{ mm} \quad I_y = 9.840.000,0 \text{ mm}^4$$



Gambar 5.7. Geometrik hasil potongan



Gambar 5.8. Pola penyusunan balok Castella segi enam

(Sumber; Design of Welded Structures; Omer W. Blodgett ; 4.7-2)

Tinggi balok castella (Deign of Welded Structures: hal 4.7-15)

Modulus penampang balok castella yang diperlukan

$$S_g = \frac{M}{\sigma} = \frac{14.261.500}{240} = 59.423 \text{ mm}^3 \quad (ref:2.4.3.4)$$

K_1 , merupakan perbandingan tinggi balok castella dengan balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \text{ di asumsikan besarnya } K_1 = 1,5 \quad (ref:2.4.3.5)$$

Tinggi pemotongan zig-zag (h) balok castella

$$\begin{aligned} h &= d_b (K_1 - 1) \\ &= 175 (1,5 - 1) \\ &= 87,50 \text{ mm} \end{aligned} \quad (ref:2.4.3.6)$$

Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan

(ref:2.4.3.7)

$$d_T \geq \frac{V}{2 \cdot t_w \cdot \sigma} = \frac{26.534.000}{2 \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 240} = 19.743 \text{ mm}$$

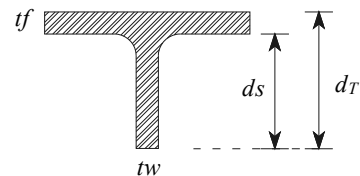
$$\begin{aligned} h &= d_b - 2 \cdot d_T \\ &= 350 - 2 \cdot 19.743 \\ &= 310,51 \text{ mm} \geq 19.743 \text{ mm} \quad (\text{Aman}) \end{aligned} \quad (ref:2.4.3.8)$$

Tinggi balok castella

$$\begin{aligned} d_g &= d_b + h \\ &= 350 + 87,5 \\ &= 437,50 \text{ mm} \end{aligned} \quad (ref:2.4.3.9)$$

Tinggi penampang T castella

$$\begin{aligned} d_T &= (d_g/2) - h \\ &= (437,5/2) - 87,5 \\ &= 131,25 \text{ mm} \end{aligned}$$



Tinggi web penampang T castella

$$\begin{aligned} d_s &= d_T - t_f \\ &= 131,25 - 11 \\ &= 120,25 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.11})$$

Tegangan lentur tekan yang diijinkan pada plat badan castella

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,43}{C_c^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot f_y \quad (\text{ref:2.4.3.12})$$

dimana

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 2,0 \times 10^5}{240,00}} \\ &= 128,25 \end{aligned} \quad (\text{ref:2.4.3.13})$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= 1 - \left(\frac{10,434}{16449,34} \left(\frac{87,50}{7} \right)^2 \right) \cdot 0,9 \cdot 240,00 \\ &= 194,592 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Besarnya tegangan lentur yang terjadi harus dalam batas yang diijinkan.

Tegangan geser pada bagian web yang berlubang ditentukan dengan

rumus. (Deign of Welded Structures: hal 4.7-13)

$$\begin{aligned} \phi &= 60^\circ \quad \theta = 30^\circ \\ \sigma_v &= \frac{4 \cdot ((\pi \cdot \theta)/180^\circ)^2 \cdot \bar{\sigma}}{3 \cdot \tan \theta} \leq 0,9 \cdot 240 \quad (\text{ref:2.4.3.14a}) \\ &= \frac{1,097 \times 194,592}{5,196} \leq 216,00 \text{ N/mm}^2 \\ &= 41,068 \text{ N/mm}^2 \leq 216,00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk tegangan maksimum

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 1 \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} && (ref:2.4.3.14b) \\ &= 1 \frac{25207,300 \text{ N}}{7 \text{ mm} \cdot 437,5 \text{ mm}} \\ &= 9,548 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Rasio tegangan geser maksimum pada potongan badan solid castella.

$$K_2 = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = \frac{e}{s} = \frac{9,548}{41,068} = 0,232 \quad (ref:2.4.3.15)$$

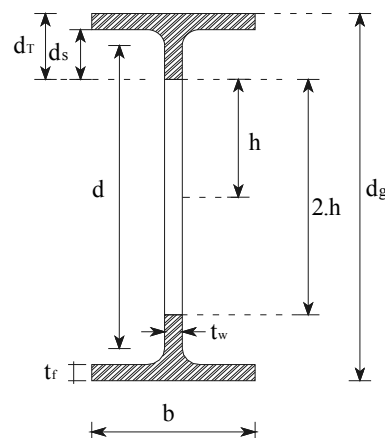
$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \theta}{(1/K_2) - 2} \quad (ref:2.4.3.16)$$

$$e \geq \frac{2 \cdot 50,518}{(1/0,232) - 2} = 43,905 \text{ mm}$$

diambil e sebesar = 44 mm

Perluasan penampang T dari balok castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)



$$\begin{aligned}A_T &= A_f + A_s && (ref:2.4.3.17) \\ &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w \\ &= 175 \cdot 11 + .7 \\ &= 1925 + 841,75 \\ &= 2766,750 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Modulus Kelembaman penampang T castella

$$\begin{aligned}
 W_T &= A_f (d_s + (t_f/2)) + A_s (d_s/2) & (ref:2.4.3.20) \\
 &= 1925 (120,25 + (11/2)) + 841,75 (120,25/2) \\
 &= (1925 \times 125,75) + 50610,21875 \\
 &= 292.679 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Momen inersia penampang T castella

$$\begin{aligned}
 I_T &= A_f (d_s^2 + d_s \cdot t_f + (t_f^2/3)) + A_s (d_s^2/3) & (ref:2.4.3.21) \\
 &= 1925 (120,25^2 + 120,25 \cdot 11 + (11^2/3)) + 841,75 (120,25^2/3) \\
 &= (1925 \times 15823,146) + 4057252,536 \\
 &= 34.516.809 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Jarak titik berat penampang T dari ujung tangkai penampang T

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$C_s = \frac{W_T}{A_T} = \frac{292.679}{2.767} = 106 \text{ mm} \quad (ref:2.4.3.22)$$

Momen Inersia tangkai penampang T castella

$$\begin{aligned}
 I_t &= I_T - C_s \cdot W_T & (ref:2.4.3.23) \\
 &= 34516808,586 - (105,784 \cdot 292678,969) \\
 &= 3.555.942 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus tahanan tangkai penampang T

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} = \frac{3.555.942}{106} = 33.615 \text{ mm}^3 \quad (ref:2.4.3.24)$$

Jarak antara titik berat penampang T atas dan bawah

$$\begin{aligned}
 d &= 2 \cdot (h + C_s) & (ref:2.4.3.25) \\
 &= 2 \cdot (87,5 + 105,784) \\
 &= 386,569 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen Inersia penampang castella (*Deign of Welded Structures: hal 4.7-17*)

$$\begin{aligned} I_g &= 2 \cdot I_t + ((A_T \cdot d^2) / 2) && (\text{ref:2.4.3.26}) \\ &= 2 \cdot 3555941,542 + ((2766,75 \cdot 386, 2 \\ &= 213.837.116 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Modulus tahanan penampang castella

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{2 \cdot I_g}{d_g} && (\text{ref:2.4.3.27}) \\ &= \frac{2 \cdot 213.837.116}{437,50} \\ &= 977.541,100 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

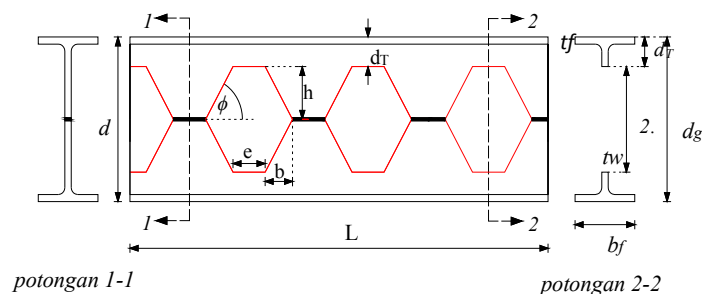
Jarak interval lubang segi enam penampang castella

(*Deign of Welded Structures: hal 4.7-17*)

$$\begin{aligned} s &= 2 \cdot (e + h \cdot \text{tg } \theta) && (\text{ref:2.4.3.28}) \\ &= 2 \cdot (44 + 151,554) \\ &= 391,109 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil peninggian penampang profil WF menjadi penampang castella

$$\begin{aligned} d_g &= 437,50 \text{ mm} & e &= 44,00 \text{ mm} \\ d_T &= 131,25 \text{ mm} & b &= 50,5 \text{ mm} \\ h &= 87,50 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 5.9. Penampang Castella segi enam

(*Sumber; Design of Welded Structures; Omer W. Blodgett ; 4.7-2*)

Tegangan lentur sekunder yang diijinkan penampang castella

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-18)

$$\begin{aligned}\sigma &= \left[1 - \frac{2,609}{C_c^2} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right] \cdot 0,9 \cdot f_y & (ref:2.4.3.12) \\ \sigma &= \left[1 - \frac{2,609}{16449,34} \left(\frac{88}{7} \right)^2 \right] \cdot 0,9 \cdot 240 \\ &= 210,647 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tegangan lentur sekunder

(Deign of Welded Structures: hal 4.7-17)

$$\begin{aligned}\sigma_T &= \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_s} \\ &= \frac{25207,30 \cdot 44}{4 \cdot 33614,992} \\ &= 8,249 \text{ N/mm}^2 \leq 210,647 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Tegangan lentur primer ditengah bentang penampang castella

Tegangan tarik dan desak

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F}{A_T} = \frac{M}{d \cdot A_T} \\ &= \frac{14.261.500}{386,569 \times 2766,8} \\ &= 13,334 \text{ N/cm}^2 \leq 210,647 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Kontrol tegangan total

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{total}} &= 8,249 + 13,334 \leq 210,647 \text{ N/mm}^2 \\ &= 21,583 \text{ N/mm}^2 \leq 210,647 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})\end{aligned}$$

Tegangan lentur sekunder pada bagian plat badan profil T karena geser (I_g) vertikal (V), ditambah tegangan lentur utama pada profil T karena terkena momen (M).

$$\sigma = \frac{M \cdot h}{I_g} + \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_s} \quad (ref : 2.4.3.2)$$

$$= \frac{14.261.500,000 \times 87,50}{213.837.115,697} + 8,249$$

$$= 14,084 \text{ N/mm}^2$$

$$14,084 \text{ N/mm}^2 \leq 210,647 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Aman})$$

5.4 Profil Portal *Frame*

Profil Kolom : WF 588x300x12x20

Profil Balok Induk B.33 : WF 882x300x12x20

Profil Balok Induk B.40 : WF 437,5x300x12x20

5.4.1 Perhitungan Balok Kolom Profil WF

Perhitungan Kolom

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dengan menggunakan program bantu SAP2000 v17.1.1 Ultimate sebesar :

Kolom (No. Batang 5)

$$N_u = 245,465 \text{ kN}$$

$$M_u = 143,732 \text{ kN.m}$$

$$L = 4,00 \text{ m}$$

Balok Induk (No. Batang 33)

$$V_u = 318,317 \text{ kN}$$

$$M_u = 489,42 \text{ kN.m}$$

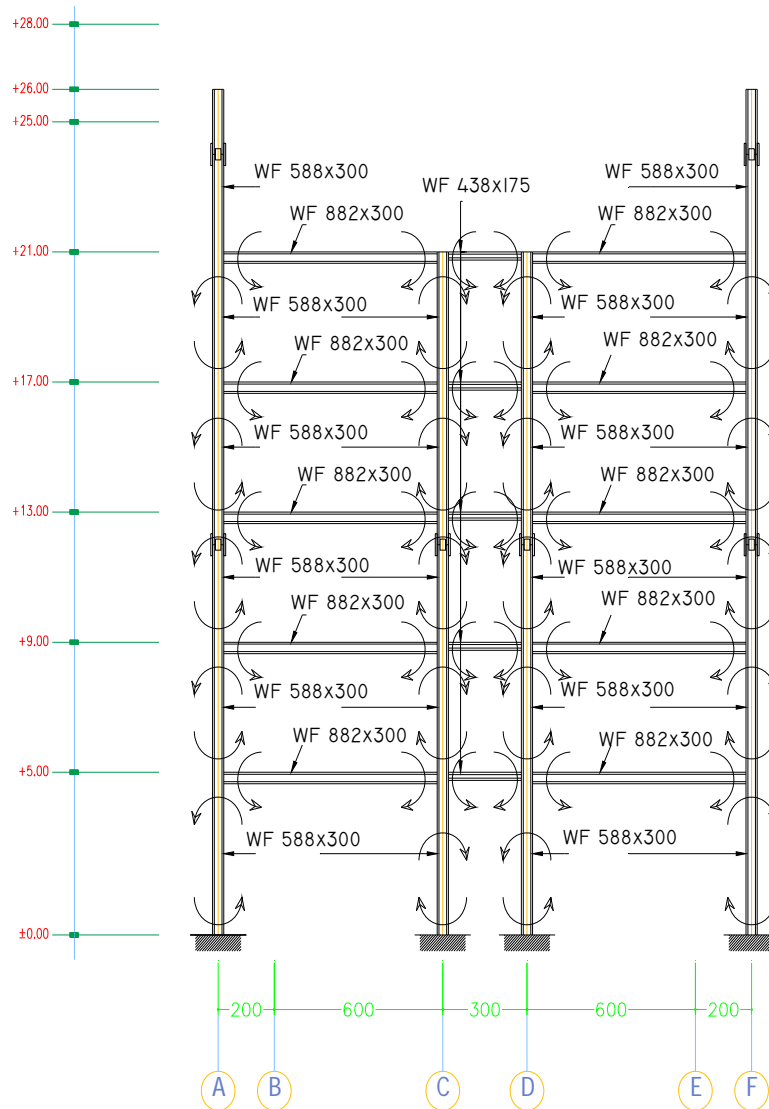
$$L = 8,00 \text{ m}$$

Balok Induk (No. Batang 40)

$$V_u = 26,534 \text{ kN}$$

$$M_u = 14,263 \text{ kN.m}$$

$$L = 3,00 \text{ m}$$



Gambar 5.10 : Portal Frame

Dicoba dengan profil : (Kolom) WF 588x300x12x20

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

$$d = 588 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 20 \text{ mm}$$

$$r_o = 28 \text{ mm}$$

$$h = d - 2 \cdot (t_f + r_o) = 492,0 \text{ mm}$$

$$S_x = 4020 \text{ mm}$$

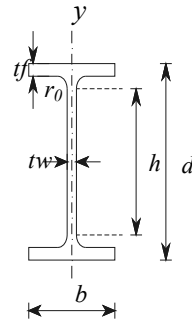
$$r_x = 248,0 \text{ mm}$$

$$r_y = 68,5 \text{ mm}$$

$$A_g = 19250,0 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1.180.000.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 90.200.000 \text{ mm}^4$$



Dicoba dengan profil : (Balok Induk B.33) WF 882x300x12x20

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

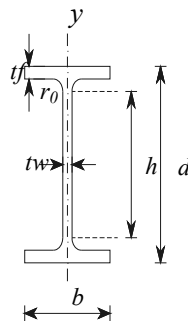
$$d = 882 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 20 \text{ mm}$$

$$r_o = 28 \text{ mm}$$



$$h = d - 2.(t_f + r_o) = 786,0 \text{ mm}$$

$$S_g = 2.039.249 \text{ mm}$$

$$r_x = 357,6 \text{ mm}$$

$$r_y = 63,9 \text{ mm}$$

$$A_g = 22104,0 \text{ mm}^2$$

$$I_g = 2.826.479.700 \text{ mm}^4$$

Dicoba dengan profil : (Balok Induk B.40) WF 437,5x300x12x20

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$f_y = 240,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

$$d = 438 \text{ mm}$$

$$b = 175 \text{ mm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm}$$

$$r_o = 14 \text{ mm}$$

$$h = d - 2.(t_f + r_o) = 387,5 \text{ mm}$$

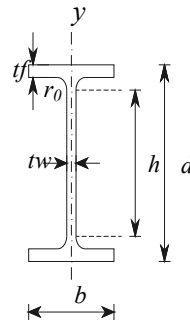
$$S_g = 59.423 \text{ mm}$$

$$r_x = 179,4 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,1 \text{ mm}$$





$$A_g = 6758,5 \text{ mm}^2$$

$$I_g = 216.963.420 \text{ mm}^4$$



5.4.2. Perhitungan Dimensi kolom balok

Faktor panjang efektif k_x , ditentukan dengan menggunakan faktor G .

Garis terputus menunjukkan posisi	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai k_c teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k_c desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Keterangan kode ujung	 (jepit)  (sendi)  (rol tanpa rotasi)  (ujung bebas)					

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 57*)

Gambar 5.11 : Faktor panjang efektif

Kondisi tumpuan jepit-sendiri

$$G_A = 0,8$$

Tabel 5.4 : Faktor kekakuan masing-masing elemen .

Elemen	Profil	$I (cm^4)$	$L(cm)$	I/L
1;8;15;22	WF 588x300x12x20	118000	500	236,00
2;3;4;5	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
9;10;11;12	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
16;17;18;19	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
23;24;25;26	WF 588x300x12x20	118000	400	295,00
6;7	WF 588x300x12x20	118000	500	236,00
29;30;31;32	WF 882x300x12x20	282648	800	353,3
33;43;44;45	WF 882x300x12x20	282648	800	353,3
46;47	WF 882x300x12x20	282648	800	353,3
36;37;38;39	WF 437,5x300x12x20	21696	300	72,3
40	WF 437,5x300x12x20	21696	300	72,3

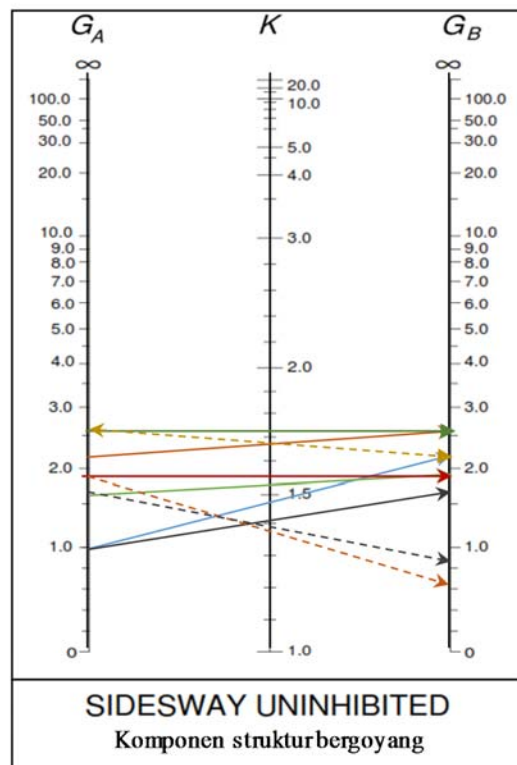
(ref : 2.6.3.1)

Tabel 5.5 : Tiap-tiap joint.

Joint	$S (I/L)c / S (I/L)b$	G
1	-	1
2	$(236 + 295) / 353,31$	1,503
3	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
4	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
5	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
6	$(295 + 236) / 353,31$	1,503
7	-	0,8
8	-	0,8
9	-	1
10	$(236 + 295) / (353,31 + 72,321)$	1,248
11	$(295 + 295) / (353,31 + 72,321)$	1,386
12	$(295 + 295) / (353,31 + 72,321)$	1,386
13	$(295 + 295) / (353,31 + 72,321)$	1,386

14	$295 / (353,31 + 72,321)$	0,417
17	-	1
18	$(236 + 295) / (72,321 + 353,31)$	1,248
19	$(295 + 295) / (72,321 + 353,31)$	1,386
20	$(295 + 295) / (72,321 + 353,31)$	1,386
21	$(295 + 295) / (72,321 + 353,31)$	1,386
22	$295 / (72,321 + 353,31)$	0,693
25	-	1
26	$(236 + 295) / 353,31$	1,503
27	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
28	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
29	$(295 + 295) / 353,31$	1,67
30	$(295 + 236) / 353,31$	1,503

(ref : 2.6.3.1)



Gambar 5.12. Monogram faktor panjang tekuk

(Sumber, AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstruction, second edition; Column Design 3-6)

Dari nomogram didapat nilai k faktor panjang tekuk

Tabel 5.6 : Faktor panjang efektif, k , masing-masing kolom.

Kolom	GA	GB	k
1	1	1,503	1,49
2	1,503	1,67	1,68
3	1,67	1,67	1,72
4	1,67	1,67	1,72
5	1,67	1,503	1,68
6	1,503	0,8	1,49
7	1,503	0,8	1,49
8	1	1,248	1,4
9	1,248	1,386	1,54
10	1,386	1,386	1,55
11	1,386	1,386	1,55
12	1,386	0,417	1,275
15	1	1,248	1,4
16	1,248	1,386	1,4
17	1,386	1,386	1,55
18	1,386	1,386	1,55
19	1,386	0,693	1,275
22	1	1,503	1,49
23	1,503	1,67	1,68
24	1,67	1,67	1,72
25	1,67	1,67	1,72
26	1,67	1,503	1,68

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Kolom) WF 588x300x12x20

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,500 < 16,137 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{492,00}{12} = 41,000$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$41,000 < 42,926 \quad \text{Penampang Kompak}$$

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Balok Induk B.33) WF 882x300x12x20

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,500 < 16,137 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{786,00}{12} = 65,500$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$65,500 < 42,926 \quad \text{Penampang Tidak Kompak}$$

Periksa kelangsingan penampang

Profil : (Balok Induk B.40) WF 437,5x300x12x20

$$\text{Flens } \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(175 / 2)}{11} = 7,955$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{7}} = 94,491$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7,955 < 94,491 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\text{Web } \frac{h}{t_w} = \frac{387,50}{7} = 55,357$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,926$$

$$\lambda < \lambda_r$$

$$55,357 < 42,926 \quad \text{Penampang Tidak Kompak}$$

5.4.3. Aksi kolom

Kelangsingan pada arah sumbu bahan.

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L}{r_x} ; \lambda_y = \frac{k \cdot L}{r_y}$$

dimana L : panjang komponen struktur tekan

k : faktor panjang tekuk

r_x, r_y jari-jari girasi komponen struktur

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 61*)

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L}{i_y} = \frac{1,49 \times 4000,00}{68,50} = 87,007$$

$$\lambda_c = \frac{k \cdot L}{\pi \cdot r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{87,007}{3,142} \sqrt{\frac{240,0}{200.000}} = 0,959$$

(ref:2.6.2.3)

Besarnya ω ditentukan nilai λ_c .

$$\lambda_c < 0,25 \quad \text{maka} \quad \omega = 1 \quad (\text{ref:2.6.2.5a})$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = \frac{1,43}{1,6-0,67 \lambda_c} \quad (\text{ref:2.6.2.5b})$$

$$\lambda_c > 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (\text{ref:2.6.2.5c})$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 57*)

$$\omega = \frac{1,43}{1,6-0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6-0,67 \lambda_c} = 1,494$$

$$N_n = 4_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (\text{ref: 2.6.1.2})$$

$$= 19250,00 \times \frac{240,00}{1,494} = 3.092.514,432 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{245.465,000}{0,85 \times 3.092.514,430}$$

$$= 0,093 < 0,2 \quad (\text{ref : 2.6.4.1})$$

(Sumber; SNI 03-1729-2002. hal. 24 pasal. 7.4.3.3)

5.4.4. Aksi balok

Periksa penampang kompak atau tidak

$$\frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(300 / 2)}{20} = 7,500$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$7,500 < 10,973 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{786}{12,000} = 65,5$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$65,500 < 108,444 \quad \text{Penampang Kompak}$$

$$M_n = (M_u / \phi b)$$

$$= (143732 / 0,9)$$

$$= 159.702 \quad \text{N.m} = 159.702.222 \quad \text{N.mm}$$

$$Z_x = b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + (1/4 \cdot t_w) \cdot (d - 2t_f)^2$$

$$= 300 \cdot 20 (588 - 20) + (1/4 \cdot 12) \cdot (588 - 2 \cdot 20)^2$$

$$= 3.404.964 \quad \text{mm}^3$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y & \phi b \cdot M_{nx} &= 0,9 \cdot M_p \\
 &= 3404964 \text{ mm}^3 \times 240 \text{ N/mm}^2 & &= 0,9 \cdot 817191360 \text{ N.mm} \\
 &= 817.191.360 \text{ N.mm} & &= 735.472.224 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Perbesaran Momen (δ_b)

Untuk menghitung (δ_b) diperlukan rasio kelangsingan dari portal bergoyang

$$\frac{k \cdot L}{r_x} = \frac{1,68 \times 4000}{248,00} = 27,097$$

Didapat nilai momen (M_1) dan momen (M_2) dari program bantu SAP2000 v17

Ultimate sebagai berikut :

$$M_1 = 11.274 \text{ kg.m} = 110,563 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = 11.274 \text{ kg.m} = 110,563 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) & (ref : 2.6.5.3) \\
 &= 0,6 - 0,4 (11274,29 / 11274,29) \\
 &= 0,2
 \end{aligned}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{((k.L)/r)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000 \times 19250}{27,097^2} = 1.647.310,315 \text{ N}$$

$$N_u = 245465,0 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_b &= \frac{C_m}{1 - (N_u/N_{el})} = \frac{0,2}{1 - (245465 / 1647310,315)} \\
 &= 0,235 < 1,0 & (ref : 2.6.5.2)
 \end{aligned}$$

Diambil (δ_b) sebesar 1,0

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M \\ &= 1,0 \cdot 143732 \\ &= 143732 \text{ N.m} = 143.732.000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \leq 0,2 \quad (\text{ref : 2.6.4.3})$$

$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} \right) \leq 1 \quad (\text{ref : 2.6.4.4})$$

$$2 \cdot 0,093 + \left(\frac{143.732.000}{735.472.224,0} \right) \leq 1 = 0,186 \leq 1,0$$

Jadi profil WF 588x300x12x20 mencukupi untuk memikul beban sesuai dengan LRFD.

5.5 Sambungan Balok Kolom Tepi

5.5.1 Data Perencanaan Profil WF

Balok Induk WF

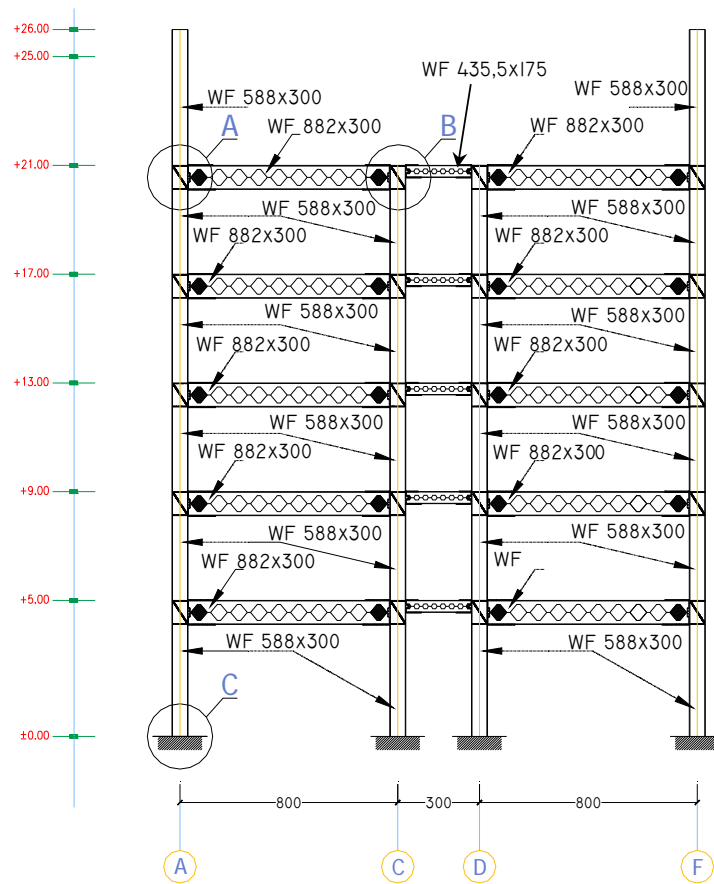
Tinggi balok (d)	=	882	mm
Lebar balok (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	52	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm
M_u	=	519,728	kN.m
V_u	=	326,763	kN

Balok Induk WF

Tinggi balok (d)	=	438	mm
Lebar balok (b)	=	175	mm
Tebal web (t_w)	=	7	mm
Tebal flange (t_f)	=	11	mm
r_o	=	14	mm
M_u	=	14,811	kN.m
V_u	=	26,956	kN

Kolom WF

Tinggi kolom (d)	=	588	mm
Lebar kolom (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	12	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm



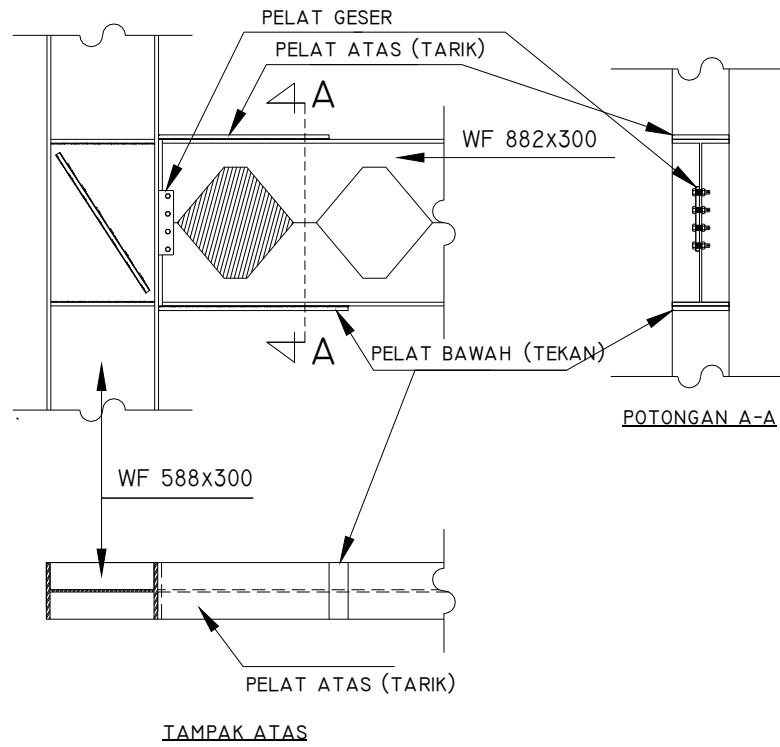
Gambar 5. 13 : Penamaan Sambungan

Sambungan A = Sambungan Balok Kolom

Sambungan B = Sambungan Tepi

Sambungan C = Sambungan Pelat Dasar (*Base Plat*)

5.5.2 Sambungan Balok Induk



Gambar 5.14 . Skema Penyambungan balok kolom

Balok Induk

Perhitungan pelat penyambung atas (flens tarik) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 30 \times 90 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,04 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned} T_u &= Mu / b \\ &= 519728 \times 10^3 / 300 = 1.732,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

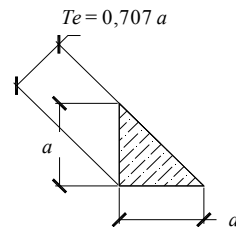
Luas pelat ujung :

$$A_g = 30 \times 90 = 2700 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0,9 \cdot 2700 \cdot 240 \\ &= 583.200,00 \text{ N} \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran a = 10,4 mm dengan kapasitas

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_{u \text{ las}}) \\ &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 1,04) (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}\text{Las} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{bahan dasar} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\ &= 794,10 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\ &= 583200 / 1588,2048 \\ &= 367,207 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = 33,604 mm

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 300 mm

Perhitungan pelat penyambung bawah (flens tekan) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 30 \times 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,04 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned}T_u &= Mu / b \\ &= 519728 \times 10^3 / 300 = 1.732,43 \text{ kN}\end{aligned}$$

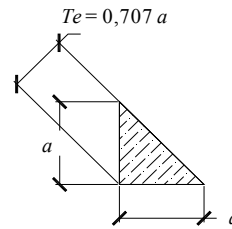
Gunakan pelat ukuran :

$$A_g = 30 \times 100 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\
 &= 0,9 \cdot 3000 \cdot 240 \\
 &= 648.000,00 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran $a = 10,4 \text{ mm}$ dengan kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_u \text{ las}) \\
 &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 10,4) (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588,20 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}
 \text{Las} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{bahan dasar} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\
 &= 794 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\
 &= 648000 / 1588,2048 \\
 &= 408,008 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = $54,004 \text{ mm}$

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 300 mm

Perhitungan sambungan pelat geser :

Sambungan baut

Baut penyambung menggunakan baut :

Tipe baut = A490

Diameter baut = 12,7 mm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \cdot 3,142 \cdot 12,7^2 \\ &= 126,677 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik min. = 1035 Mpa

Tebal pelat = 1,0 cm = 10 mm

$f_{u \text{ las}}$ = 480 Mpa

Tahanan nominal baut:

Geser :

$$\begin{aligned} \text{bidang geser : } \phi \cdot R_n &= \phi \cdot 0,4 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (\text{ref:2.7.1.3}) \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 1035 \cdot (1/4 \cdot 3,142 \cdot 126,677^2) \\ &= 39.333,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{326.763,00}{39.333,17} = 8,308 \approx 8 \text{ buah}$$

Tata letak baut pada web balok :

Jarak antar baut : $3 \cdot d_b < S < 15 \cdot T_p$

$$3 \cdot 12,7 < S < 15 \cdot 10$$

$$38,10 \text{ mm} < S < 150,00 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut : $1,5 \cdot d_b < S_1 < 4 \cdot T_p$

$$1,5 \cdot 12,7 < S_1 < 4 \cdot 10$$

$$19,05 \text{ mm} < S_1 < 40,00 \text{ mm}$$

Jadi jarak antar baut diambil = 70,00 mm

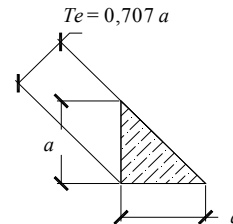
jarak tepi baut diambil = 30,00 mm

Panjang *shear plate* = $7 \cdot 70 + 2 \cdot 30$
= 550,00 mm

$$t = \frac{V_u}{0,9 \times 0,6 f_y \times b} = \frac{326.763,00}{0,9 \times 0,6 \cdot 240 \times 550}$$
$$= 4,584 \text{ mm}$$

Gunakan shear plate dengan ukuran 100 x 550 mm² . Sebagai penyambung shear plate dengan flens kolom digunakan las sudut ukuran $a = 4,584$ mm dengan kapasitas ;

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_u \text{ las})$$
$$= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 4,584) (0,6 \cdot 480)$$
$$= 700 \text{ N/mm}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Panjang las sudut yang diperlukan :

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{326.763}{700} = 466,761 \text{ mm}$$

Perhitungan pengaku flens kolom pada flens tarik balok :

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot 6,25 \cdot f_y \cdot t_f^2$$
$$= 0,9 \cdot 6,25 \cdot 240 \cdot 20^2$$
$$= 540.000,00 \text{ N}$$

$$\phi \cdot Rn < T_u$$

$$540.000,00 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi Perlu dipasang pengaku}$$

Pengaku web kolom pada flens tekan balok :

$$\begin{aligned} \phi Rn &= \phi \cdot 0,39 \cdot t_w^2 \left(1 + 3 \frac{N \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5}}{d} \right) \sqrt{\frac{E \times f_{yw} \times t_w}{t_w}} \\ &= 0,75 \cdot 0,39 \cdot 12^2 \left(1 + 3 \frac{882,0 \left(\frac{12}{20} \right)^{1,5}}{588,0} \right) \\ &\quad \sqrt{\frac{200000 \times 240 \times 12}{12}} = 610.349,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi Rn < T_u$$

$$610.349,15 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi perlu dipasang pengaku}$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 94*)

$$\begin{aligned} t_{wt} &= \frac{\phi Rn}{f_y \cdot (N + 5k)} = \frac{1 \times 1732426,667}{240 \cdot (20 + 5 \cdot 48)} \\ &= 27,76 \text{ mm} > t_w \quad 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 56592 - 12 \cdot [20 + (5(48))] \\ &= 53472 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gunakan dua buah pengaku 144 x 548 ($A_s = 157824 \text{ mm}^2$)

$$\frac{b}{t} = \frac{548}{144} = 3,81 < \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 94*)

Geser pada web kolom :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 0,7 \cdot f_y \cdot d_c \cdot t_w \\ &= 0,9 \cdot 0,7 \cdot 240 \cdot 588 \cdot 12 \\ &= 1.066.867,20 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\phi V_n < T_u$$

$$1.066.867,20 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi perlu dipasang pengaku}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{f_y \cos \theta} \times \left(\frac{M}{0,9 d_b} - V_n \right) \\ &= \frac{1}{240 \cdot \cos 30} \times \left(\frac{1.732.426,67}{0,9} - 1.066.867,20 \right) \\ &= 0,027012 \times 858.051 \\ &= 23177,83 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Gunakan dua buah pengaku 150 x 786 ($A_s = 235800 \text{ mm}^2$)

$$\frac{b}{t} = \frac{786}{150} = 5,24 < \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

5.6 Sambungan Balok Kolom Tengah

5.6.1 Data Perencanaan Profil WF

Balok Induk WF

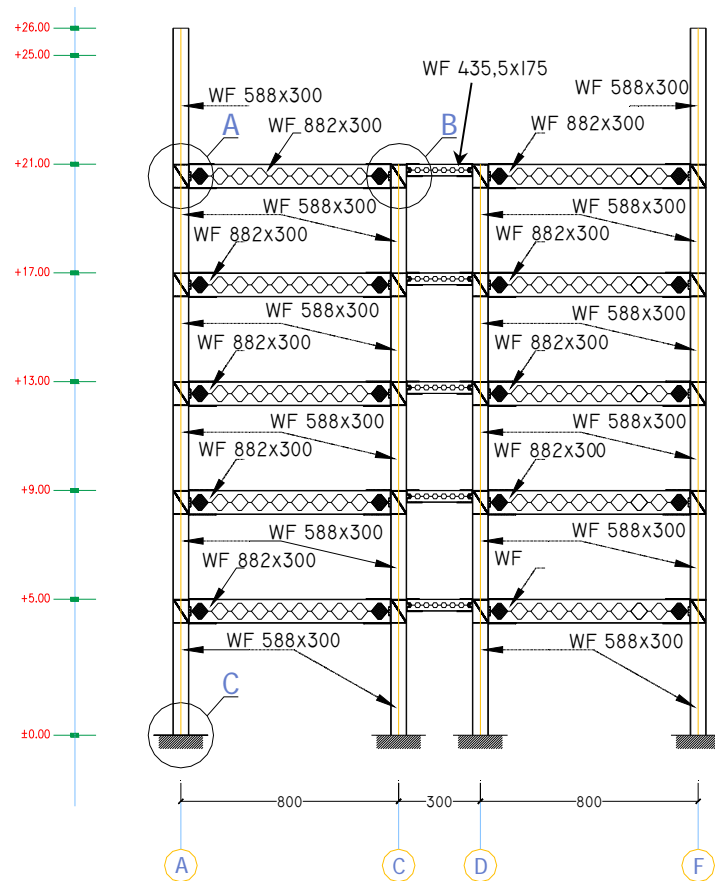
Tinggi balok (d)	=	882	mm
Lebar balok (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	52	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm
M_u	=	519,728	kN.m
V_u	=	326,763	kN

Balok Induk WF

Tinggi balok (d)	=	437,5	mm
Lebar balok (b)	=	175	mm
Tebal web (t_w)	=	7	mm
Tebal flange (t_f)	=	11	mm
r_o	=	14	mm
M_u	=	14,262	kN.m
V_u	=	26,534	kN

Kolom WF

Tinggi kolom (d)	=	588	mm
Lebar kolom (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	12	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm



Gambar 5. 15 : Penamaan Sambungan

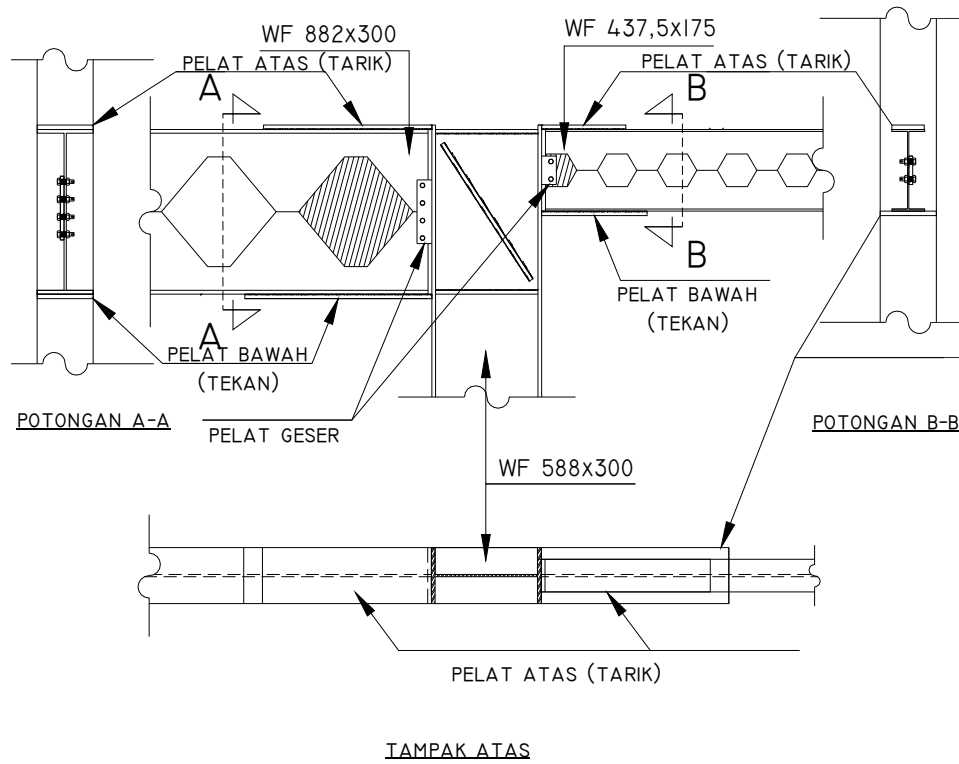
Sambungan A = Sambungan Balok Kolom

Sambungan B = Sambungan Tepi

Sambungan C = Sambungan Kolom / Sambungan Lewatan

Sambungan Pelat Dasar (*Base Plat*)

5.6.2 Sambungan Balok Induk



Gambar 5. 16 . Skema Penyambungan kolom balok

Balok Induk

Perhitungan pelat penyambung atas (flens tarik) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 30 \times 90 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,04 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned} T_u &= Mu / b \\ &= 519728 \times 10^3 / 300 = 1.732,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

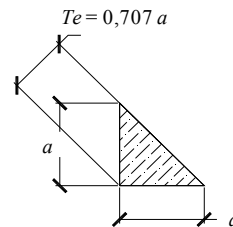
Luas pelat ujung :

$$A_g = 30 \times 90 = 2700,00 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0,9 \cdot 2700 \cdot 240 \\ &= 583.200,00 \text{ N} \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran a = 10,4 mm dengan kapasitas

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) \cdot (0,6 \cdot f_{u \text{ las}}) \\ &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 10,4) \cdot (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}\text{Las} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{bahan dasar} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\ &= 794,10 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\ &= 583200 / 1588,2048 \\ &= 367,207 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = 33,604 mm

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 300 mm

Perhitungan pelat penyambung bawah (flens tekan) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 30 \times 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,04 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned}T_u &= Mu / b \\ &= 519728 \times 10^3 / 300 = 1.732,43 \text{ kN}\end{aligned}$$

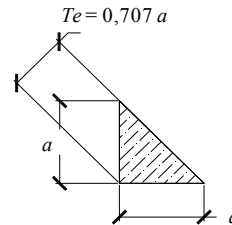
Gunakan pelat ukuran :

$$A_g = 30 \times 100 = 3000,00 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\
 &= 0,9 \cdot 3000 \cdot 240 \\
 &= 648.000,00 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran $a = 10,4 \text{ mm}$ dengan kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_u \text{ las}) \\
 &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 10,4) (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588,20 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}
 \text{Las} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{bahan dasar} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\
 &= 794 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\
 &= 648000 / 1588,2048 \\
 &= 408,008 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = $54,004 \text{ mm}$

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 300 mm

Perhitungan sambungan pelat geser :

Sambungan baut

Baut penyambung menggunakan baut :

Tipe baut = A490

Diameter baut = 12,7 mm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \cdot 3,142 \cdot d^2 \\ &= 126,677 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik min. = 1035 Mpa

Tebal pelat = 1,0 cm = 10 mm

f_u las = 480 Mpa

Tahanan nominal baut:

Geser :

$$\begin{aligned} \text{bidang geser : } \phi \cdot R_n &= \phi \cdot 0,4 \cdot f_u \cdot A_b \quad (\text{ref:2.7.1.3}) \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 1035 \cdot (1/4 \cdot 3,142 \cdot 126,677^2) \\ &= 39.333,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{326.763,00}{39.333,17} = 8,308 \approx 8 \text{ buah}$$

Tata letak baut pada web balok :

Jarak antar baut : $3 \cdot d_b < S < 15 \cdot T_p$

$$3 \cdot 12,7 < S < 15 \cdot 10$$

$$38,10 \text{ mm} < S < 150,00 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut : $1,5 \cdot d_b < S_1 < 4 \cdot T_p$

$$1,5 \cdot 12,7 < S_1 < 4 \cdot 10$$

$$19,05 \text{ cm} < S_1 < 40,00 \text{ cm}$$

Jadi jarak antar baut diambil = 70,00 mm

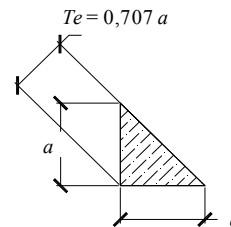
jarak tepi baut diambil = 30,00 mm

Panjang *shear plate* = $7 \cdot 70 + 2 \cdot 30$
= 550,00 mm

$$t = \frac{V_u}{0,9 \times 0,6 f_y \times b} = \frac{326.763,00}{0,9 \times 0,6 \cdot 240 \times 550}$$
$$= 4,584 \text{ mm}$$

Gunakan shear plate dengan ukuran 100 x 550 mm² . Sebagai penyambung shear plate dengan flens kolom digunakan las sudut ukuran a = 4,584 cm dengan kapasitas ;

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_u \text{ las})$$
$$= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 4,584) (0,6 \cdot 480)$$
$$= 700 \text{ N/mm}$$



Panjang las sudut yang diperlukan :

Gambar : Tebal efektif las sudut

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{326.763}{700} = 466,761 \text{ mm}$$

Perhitungan pengaku flens kolom pada flens tarik balok :

$$\phi R_n = \phi \cdot 6,25 \cdot f_y \cdot t_f^2$$
$$= 0,9 \cdot 6,25 \cdot 240 \cdot 20^2$$
$$= 540.000,00 \text{ N}$$

$$\phi R_n < T_u$$

$$540.000,00 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi Perlu dipasang pengaku}$$

Pengaku web kolom pada flens tekan balok :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 0,39 \cdot t_w^2 \left(1 + 3 \frac{N \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5}}{d} \right) \sqrt{\frac{E \times f_{yw} \times t_w}{t_w}} \\ &= 0,75 \cdot 0,39 \cdot 12^2 \left(1 + 3 \frac{882,0 \left(\frac{12}{20} \right)^{1,5}}{588,0} \right) \\ &\quad \sqrt{\frac{200000 \times 240 \times 12}{12}} = 610.349,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi R_n < T_u$$

$$610.349,15 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi perlu dipasang pengaku}$$

$$\begin{aligned} t_{wt} &= \frac{\phi R_n}{f_y \cdot (N + 5k)} = \frac{1 \times 1732426,667}{240 \cdot (882 + 5 \cdot 48)} \\ &= 6,43 \text{ mm} > t_w \quad 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 94*)

$$\begin{aligned} t_{wt} &= \frac{\phi R_n}{f_y \cdot (N + 5k)} = \frac{1 \times 1732426,667}{240 \cdot (20 + 5 \cdot 48)} \\ &= 27,76 \text{ mm} > t_w \quad 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = 56592 - 12 \cdot [20 + (5(48))] \\ = 53472 \text{ mm}^2$$

Gunakan dua buah pengaku 144 x 393 ($A_s = 113184 \text{ mm}^2$)

$$\frac{b}{t} = \frac{393}{144} = 2,73 < \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 94*)

Geser pada web kolom :

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,7 \cdot f_y \cdot d_c \cdot t_w \\ = 0,9 \cdot 0,7 \cdot 240 \cdot 588 \cdot 12 \\ = 1.066.867,20 \text{ N}$$

$$\phi V_n < T_u$$

$$1.066.867,20 \text{ N} < 1.732.426,67 \text{ N} \quad \text{Jadi perlu dipasang pengaku}$$

$$A_s = \frac{1}{f_y \cos \theta} \times \left(\frac{M}{0,9 d_b} - V_n \right) \\ = \frac{1}{240 \cdot \cos 30} \times \left(\frac{1.732.426,67}{0,9} - 1.066.867,20 \right) \\ = 0,027012 \times 858.051 \\ = 23177,83 \text{ cm}^2$$

Gunakan dua buah pengaku 28,8 x 49,2 ($A_s = 2833,92 \text{ cm}^2$)

$$\frac{b}{t} = \frac{49,2}{28,8} = 1,71 < \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

5.6.3 Data Perencanaan Profil WF

Balok Induk WF

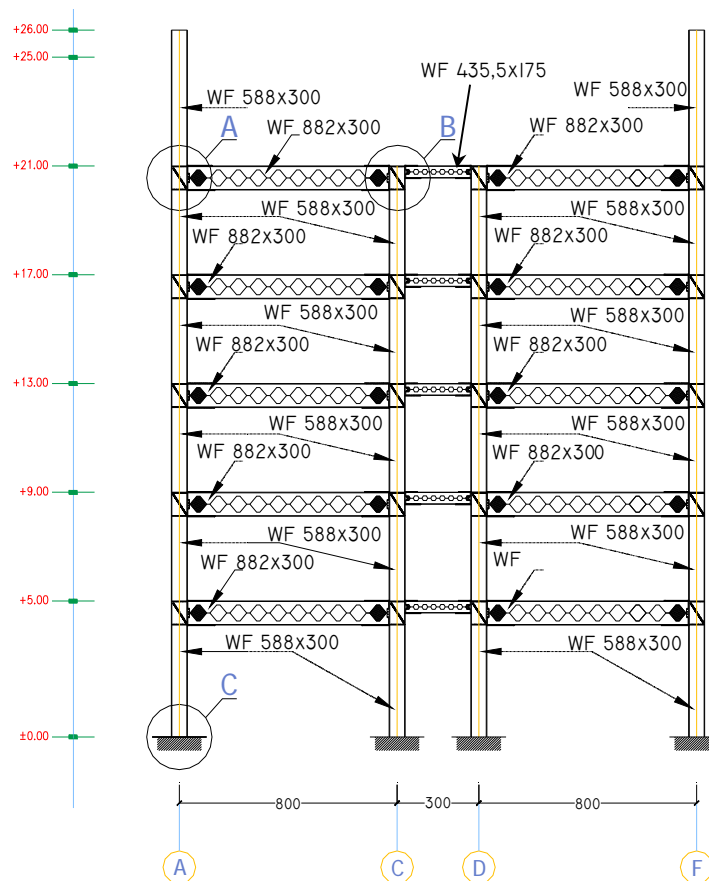
Tinggi balok (d)	=	882	mm
Lebar balok (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	52	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm
M_u	=	519,728	kN.m
V_u	=	326,763	kN

Balok Induk WF

Tinggi balok (d)	=	437,5	mm
Lebar balok (b)	=	175	mm
Tebal web (t_w)	=	7	mm
Tebal flange (t_f)	=	11	mm
r_o	=	14	mm
M_u	=	14,811	kN.m
V_u	=	26,956	kN

Kolom WF

Tinggi kolom (d)	=	588	mm
Lebar kolom (b)	=	300	mm
Tebal web (t_w)	=	12	mm
Tebal flange (t_f)	=	20	mm
r_o	=	28	mm



Gambar 5.17 : Penamaan Sambungan

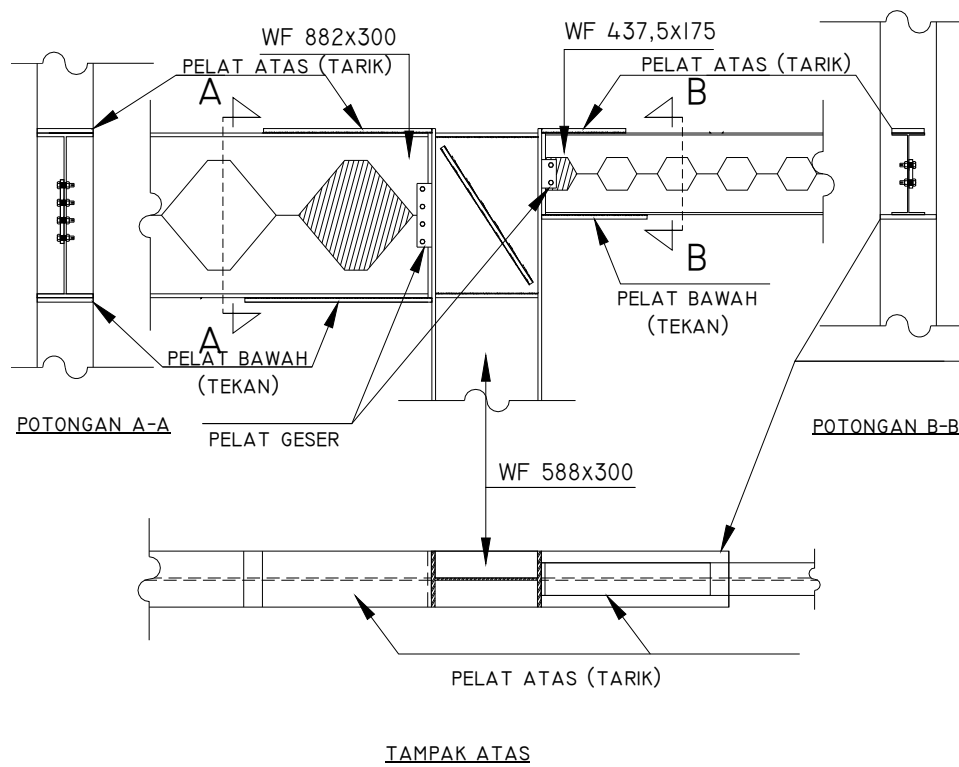
Sambungan A = Sambungan Balok Kolom

Sambungan B = Sambungan Tepi

Sambungan C = Sambungan Kolom / Sambungan Lewatan

Sambungan Pelat Dasar (*Base Plat*)

5.6.4. Sambungan Balok Induk



Gambar 5.18 . Skema Penyambungan kolom balok

Balok Induk

Perhitungan pelat penyambung atas (flens tarik) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 17,5 \times 90 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,0 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned} T_u &= M_u / b \\ &= 14811.10^3 / 175 = 84,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

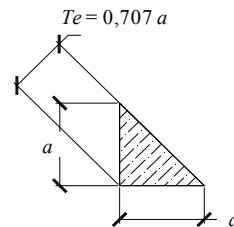
Luas pelat ujung :

$$A_g = 17,5 \times 90 = 1575,00 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0,9 \cdot 1575 \cdot 240 \\ &= 34.020,00 \text{ N} \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran $a = 10,4 \text{ mm}$ dengan kapasitas

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) \cdot (0,6 \cdot f_{u \text{ las}}) \\ &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 10,4) \cdot (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}\text{Las} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\ &= 1.588,20 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{bahan dasar} \quad \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\ &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\ &= 794,10 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\ &= 34020 / 1588,2048 \\ &= 21,420 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = 10,71 mm

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 175 mm

Perhitungan pelat penyambung bawah (flens tekan) :

Sambungan Las

$$\text{Pelat (BJ) berukuran} = 30 \times 90 \text{ cm}^2$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,0 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Tahanan rencana :

$$\begin{aligned}T_u &= Mu / b \\ &= 14811.10^3 / 175 = 84,63 \text{ kN}\end{aligned}$$

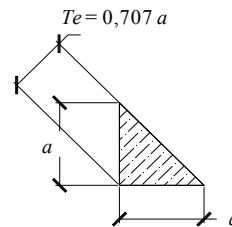
Gunakan pelat ukuran :

$$A_g = 30 \times 90 = 2700,00 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \\
 &= 0,9 \cdot 2700 \cdot 240 \\
 &= 583.200,00 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Las sambung gunakan las sudut ukuran $a = 10,4 \text{ mm}$ dengan kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) \cdot (0,6 \cdot f_{u \text{ las}}) \\
 &= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 10,4) \cdot (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588,20 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Kuat rencana :

$$\begin{aligned}
 \text{Las} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) && (\text{ref:2.7.2.5.6}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 480) \\
 &= 1.588 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{bahan dasar} \quad \phi R_n &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) && (\text{ref:2.7.2.5.7}) \\
 &= 0,75 \cdot 7,3528 \cdot (0,6 \cdot 240) \\
 &= 794 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang las yang diperlukan} &= \phi T_n / \phi R_n \\
 &= 583200 / 1588,2048 \\
 &= 367,207 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Gunakan las di kedua sisi masing-masing = 168,604 mm

Gunakan las sepanjang pada ujung pelat = 300 mm

Perhitungan sambungan pelat geser :

Sambungan baut

Baut penyambung menggunakan baut :

Tipe baut = A307

Diameter baut = 12,7 mm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \cdot 3,142 \cdot d^2 \\ &= 126,677 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik min. = 310 Mpa

Tebal pelat = 1,0 cm = 10 mm

f_u las = 480 Mpa

Tahanan nominal baut:

Geser :

$$\begin{aligned} \text{bidang geser : } \phi \cdot R_n &= \phi \cdot 0,4 \cdot f_u \cdot A_b \quad (\text{ref:2.7.1.3}) \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 480 \cdot (1/4 \cdot 3,142 \cdot 126,677^2) \\ &= 11.780,95 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{26956,000}{11780,949} = 2,288 \approx 3 \text{ buah}$$

Tata letak baut pada web balok :

Jarak antar baut : $3 \cdot d_b < S < 15 \cdot T_p$

$$3 \cdot 12,7 < S < 15 \cdot 10$$

$$38,10 \text{ mm} < S < 150,00 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut : $1,5 \cdot d_b < S_1 < 4 \cdot T_p$

$$1,5 \cdot 12,7 < S_1 < 4 \cdot 10$$

$$19,05 \text{ mm} < S_1 < 40,00 \text{ mm}$$

Jadi jarak antar baut diambil = 70,00 mm

jarak tepi baut diambil = 30,00 mm

Panjang *shear plate* = $2 \cdot 70 + 2 \cdot 30$
= 200,00 mm

$$t = \frac{V_u}{0,9 \times 0,6 f_y \times b} = \frac{26.956,00}{0,9 \times 0,6 \cdot 240 \times 200}$$

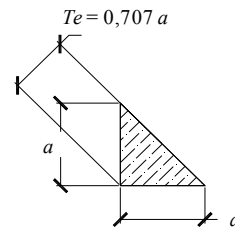
$$= 1,040 \text{ mm}$$

Gunakan shear plate dengan ukuran 100 x 200 mm² . Sebagai penyambung shear plate dengan flens kolom digunakan las sudut ukuran a = 1,04 cm dengan kapasitas ;

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (0,707 \cdot a) (0,6 \cdot f_u \text{ las})$$

$$= 0,75 \cdot (0,707 \cdot 1,04) (0,6 \cdot 480)$$

$$= 159 \text{ N/mm}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

Panjang las sudut yang diperlukan

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{26.956}{159} = 169,731 \text{ mm}$$

Perhitungan pengaku flens kolom pada flens tarik balok :

$$\phi R_n = \phi \cdot 6,25 \cdot f_y \cdot t_f^2$$

$$= 0,9 \cdot 6,25 \cdot 240 \cdot 20^2$$

$$= 540.000,00 \text{ N}$$

$$\phi R_n < T_u$$

$$540.000,00 \text{ N} < 84.634,29 \text{ N} \quad \text{Tidak perlu dipasang pengaku}$$

Pengaku web kolom pada flens tekan balok :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 0,39 \cdot t_w^2 \left(1 + 3 \frac{N \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5}}{d} \right) \sqrt{\frac{E \times f_{yw} \times t_w}{t_w}} \\ &= 0,75 \cdot 0,39 \cdot 12^2 \left(1 + 3 \frac{882,0 \left(\frac{12}{20} \right)^{1,5}}{588,0} \right) \\ &\quad \sqrt{\frac{200000 \times 240 \times 12}{12}} = 610.349,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi R_n < T_u$$

$$610.349,15 \text{ N} < 84.634,29 \text{ N} \quad \text{Tidak perlu dipasang pengaku}$$

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan, hal: 94*)

Geser pada web kolom :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot 0,7 \cdot f_y \cdot d_c \cdot t_w \\ &= 0,9 \cdot 0,7 \cdot 240 \cdot 588 \cdot 12 = 1.066.867,20 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_n < T_u$$

$$1.066.867,20 \text{ N} < 84.634,29 \text{ N} \quad \text{Tidak perlu dipasang pengaku}$$

5.5. Perencanaan Plat Dasar (Base Plate)

5.5.1 Data Perencanaan Profil WF

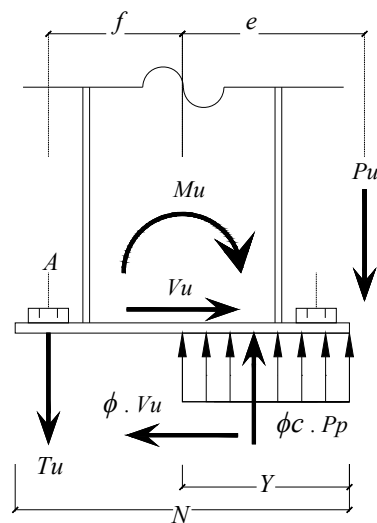
Kolom WF

Tinggi kolom (d) = 588 mm

Lebar kolom (b) = 300 mm

Tebal web (t_w) = 12 mm

Tebal flange (t_f) = 20 mm



Gambar 5.19 : Base Plate dengan Eksentrisitas Beban $e > N/6$

5.5.2 Perhitungan Sambungan Pelat Dasar

Pondasi beton = N = 100 cm = 1000 mm

B = 90 cm = 900 mm

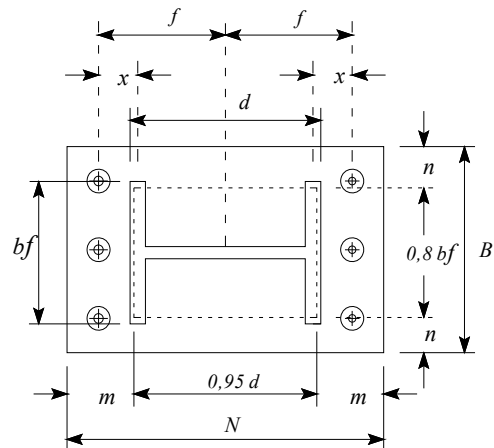
f_c = 25 Mpa

M_u = 362,4 kN/m

V_u = 145,0 kN

P_u = 1.442,6 kN

f_y = 240 Mpa



Gambar 5.20. geometrik pelat dasar

- **Tebal plat dasar**

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{(N - 0,95d)}{2} & n &= \frac{(B - 0,8 \cdot bf)}{2} \\
 &= \frac{1000 - 0,95 \times 588}{2} & &= \frac{900 - 0,8 \times 300}{2} \\
 &= 220,700 \text{ mm} & &= 330,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} & (ref : 2.8.3) \\
 &= 647,00 - \frac{588}{2} - \frac{2}{2} \\
 &= 354,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Menghitung eksentrisitas :**

$$\begin{aligned}
 e &= Mu / Pu \\
 &= 362433 / 1442,573 = 251,241 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$N/6 = 1000 / 6$$

$$= 166,7 \text{ mm} < e (= 251,241 \text{ mm})$$

• Menghitung tegangan tumpu pada beton :

$$q = \phi c. 0,85 . f'c . B \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

$$\begin{aligned} \text{Asumsikan } \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} &= 2 & q &= \phi c. 0,85 . f'c . B \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \\ & & &= 0,6 . 0,85 . 25 . 900 . 2 \\ & & &= 22.950 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$f + \frac{N}{2} = \frac{1000}{2} = 500,00 \text{ mm}$$

$$f + e = \frac{1000}{2} + 251,241 = 751,241 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y &= \left(f + \frac{N}{2} \right) \pm \sqrt{\left(- \left(f + \frac{N}{2} \right) \right)^2 - \frac{2P_u(f + e)}{q}} \\ &= \left(500 \right) \pm \sqrt{\left(- \left(500 \right) \right)^2 - \frac{2 \times 1442,573 \times 751,241}{22.950}} \\ &= 105,59 \text{ mm} \quad (\text{ref:2.8.8}) \end{aligned}$$

$$\text{Periksa } \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \sqrt{\frac{900 . 1000}{900 . 105,5}} = 0,947 \text{ , maka } \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = 2$$

$$\begin{aligned}
 T_u &= q \cdot Y - P_u && (\text{ref:2.8.7}) \\
 &= 22950 \text{ N/mm} \cdot 105,591 \text{ mm} - 1442573 \text{ N} \\
 &= 980.748 \text{ N}
 \end{aligned}$$

● **Pemeriksaan angkur terhadap gaya geser dan tarik :**

Untuk angkur tipe A307 $n = 6$ Buah angkur

Diameter baut $= 19,00 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_b &= 1/4 \cdot 3,142 \cdot 19,00^2 \\
 &= 283,529 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$F_v = 310 \text{ Mpa}$$

$$f_v = \frac{V_{ub}}{A_b}$$

$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{144.973,00}{6} = 24.162,17 \text{ N}$$

$$f_v = \frac{24.162,17}{283,529} = 85,219 \text{ N}$$

$$\phi F_v \cdot A_b = 0,75 \times 310 \times 283,529 = 65.920,431 \text{ N}$$

$$V_{ub} \leq \phi \cdot F_v \cdot A_b \quad (\text{ref:2.8.9})$$

$$24.162,17 \text{ N} \leq 65.920,431 \text{ N} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 Ft &= 407 - 1,9 f_v \\
 &= 407 - 1,9 ((85,219 / 1/4 \cdot 3,142 \cdot 19^2)) \\
 &= 232,4287 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_{ub} = \frac{T_u}{n_t} = \frac{980.748}{2} = 490.374 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi . f_t . A_b &= 0,75 \times 232,43 \times 283,529 \\ &= 494.251,580 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{ub} &\leq \phi . F_t . A_b && (ref:2.8.10) \\ 490.373,8 \text{ N} &\leq 494.251,580 \text{ N} && (\text{Aman})\end{aligned}$$

• **Perhitungan tebal *base plate* :**

$$Y = 105,6 \text{ mm} < m = 220,700 \text{ mm} \quad (ref:2.8.14)$$

$$\begin{aligned}t_{p \text{ perlu}} &= 2,11 \sqrt{\frac{P_u (m - (Y/2))}{B \cdot f_y}} \\ &= 2,11 \sqrt{\frac{1442573 (220,7 - (105,591/2))}{90 \cdot 240}} \\ &= 58,259 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ambil tebal *base plate*, $t_p = 59,00 \text{ mm}$

Sehingga ukuran *base plate* adalah = 1000 x 900 x 59 cm

• **Pengaku kanal dan sambungan :**

Kanal penyambung = MC 300 x 100

Tinggi kanal (h) = 300 mm

Lebar kanal (b) = 100 mm

Tebal web (d) = 10 mm

$$\text{Tebal flange (t = r)} = 16 \text{ mm}$$

$$h' = h - 2.(t + r)$$

$$= 236,0 \text{ mm}$$

$$\text{Las sudut (a)} = 1,04 \text{ cm} = 10,4 \text{ mm}$$

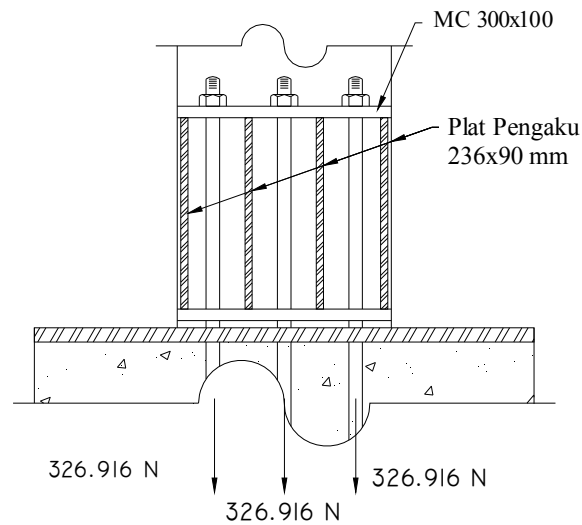
$$f_{u \text{ las}} = 480 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Setiap plat pengaku dalam dapat dianggap memikul satu beban baut penuh :

$$\text{Beban pada pengaku} = \frac{T_u}{n} = \frac{980.748}{3} = 326.916 \text{ N}$$

$$A_{st \text{ perlu}} = \frac{326.916}{0,6 f_y} = \frac{326.916}{144,0} = 2270,249 \text{ mm}^2$$



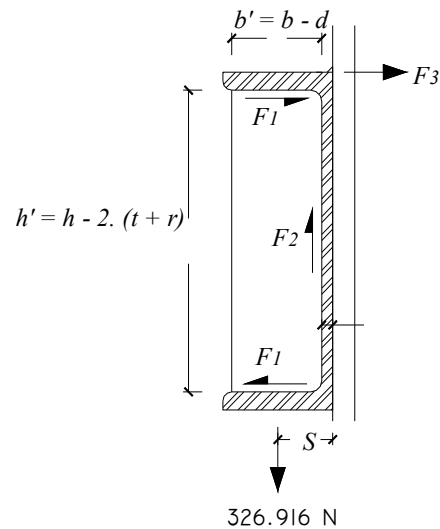
Gunakan plat = 236 x 90 mm

$$F_2 = 326.916 \text{ kg}$$

$$F_1 = \frac{326915,867 \cdot 2}{23,6} = \frac{653.832}{23,6} = 27.705 \text{ kg}$$

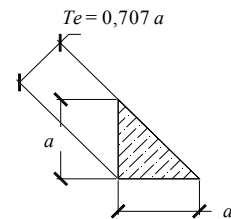
$$f_y' = \frac{326.916}{236,0} = \frac{326.916}{236,0} = 1.385 \quad \text{N/mm}$$

$$f_x = \frac{27.705}{90,0} = \frac{27.705}{90,0} = 308 \quad \text{N/mm}$$



Menggunakan las sudut = 10,4 mm, pada kedua sisi pengaku.

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75.(0,707.a) (0,6 . f_{u \text{ las}}) . 2 \\ &= 0,75.(0,707.10,4) (0,6 . 480) . 2 \\ &= 3.176 \quad \text{N/mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tebal efektif las sudut

• Sambungan ke flens kolom

Jumlah gaya F_1 harus dipikul oleh las sudut yang menghubungkan flens kanal dan flens kolom :

$$F_3 = \frac{\text{Momen}}{\text{Tinggi kanal}} = \frac{980.748}{300} = 3.269 \quad \text{N}$$

Panjang las yang diperlukan :

$$L_w = \frac{F_3}{\phi R_n} = \frac{3.269}{3.176} = 1 \text{ mm}$$

Menggunakan las sudut = 10,4 mm, dengan panjang las perlu = 1 mm

Gaya geser yang harus dipikul oleh las sepanjang badan kanal :

$$L_w = \frac{T_{ub}}{\phi R_n} = \frac{490.374}{3.176} = 154 \text{ mm}$$

Gunakan las sudut 10,4 mm menerus sepanjang badan kanal untuk penyambungan ke flens kolom.

• **Desain panjang angkur minimum yang diperlukan :**

$$L_{\min} = \frac{f_y}{4 \cdot \sqrt{f_c}} \times d_b = \frac{240}{4 \cdot \sqrt{25}} \times 19 = 228,000 \text{ mm}$$

Maka dipasang panjang angkur $L = 230 \text{ mm}$

(Sumber; *Struktur Baja dan Perilaku Desain Edisi Kedua Jilid 2, C.G. Salmon, hal: 248-249*)

Tata letak baut pada kanal :

Jarak antar baut : $3 \cdot db < S < 15 \cdot Tp$

$$3 \cdot 19 < S < 15 \cdot 19$$

$$57,00 \text{ mm} < S < 285,00 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut : $1,5 \cdot db < S_1 < 4 \cdot Tp$

$$1,5 \cdot 19 < S_1 < 4 \cdot 19$$

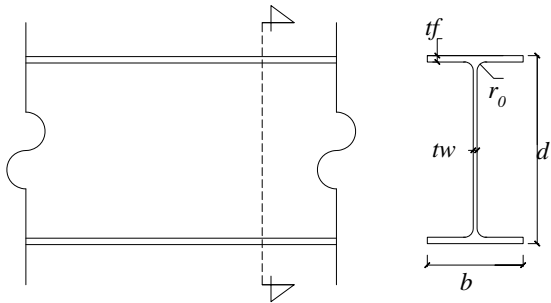
$$28,50 \text{ mm} < S_1 < 76,00 \text{ mm}$$

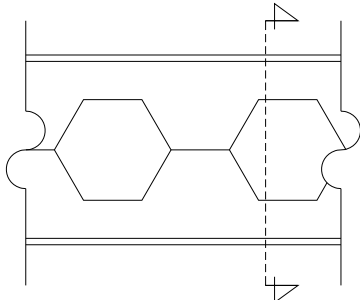
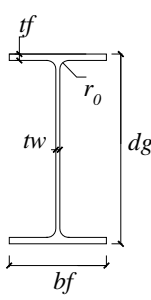
BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.

1. Dari hasil perhitungan analisa dengan pembebanan yang sama didapat hasil dimensi kolom profil WF, balok profil WF dan balok Castella, seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Dimensi dan Penampang Profil Baja		
Profil Kolom WF (Wide Flange)	Profil Balok Induk WF (Wide Flange)	Profil Balok Anak WF (Wide Flange)
WF 588x300x12x20	WF 588x300x12x20	WF 350x175x7x11
		
$d = 588 \text{ mm}$	$d = 588 \text{ mm}$	$d = 350 \text{ mm}$
$b = 300 \text{ mm}$	$b = 300 \text{ mm}$	$b = 175 \text{ mm}$
$t_w = 12 \text{ mm}$	$t_w = 12 \text{ mm}$	$t_w = 7 \text{ mm}$
$t_f = 20 \text{ mm}$	$t_f = 20 \text{ mm}$	$t_f = 11 \text{ mm}$
$r^0 = 28 \text{ mm}$	$r^0 = 28 \text{ mm}$	$r^0 = 14 \text{ mm}$
$h = 492 \text{ mm}$	$h = 492 \text{ mm}$	$h = 300 \text{ mm}$

Dimensi dan Penampang Profil Baja					
Profil Balok Induk Castella		Profil Balok Anak Castella			
WF 882x300x12x20		WF 437,5x300x12x20			
					
d_g	=	738 mm	d_g	=	438 mm
b_f	=	300 mm	b_f	=	175 mm
t_w	=	12 mm	t_w	=	7 mm
t_f	=	20 mm	t_f	=	11 mm
r_0	=	28 mm	r_0	=	14 mm
h	=	642 mm	h	=	388 mm

2. Dari hasil perhitungan analisa didapat jumlah baut pada tiap-tiap sambungan, seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Keterangan	Jenis Sambungan		
	Sambungan A	Sambungan B	Sanbungan C
Jumlah baut	8	11	6
Jumlah titik	10	10	4
Total baut	80	110	24

6.2. Saran

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, penulis memberikan saran agar pemilihan profil yang akan dicastella sangat penting sehingga profil yang dipakai dengan dimensi yang lebih kecil untuk dicastella sesuai dengan kebutuhan penampang yang diperlukan akan menghasilkan suatu struktur yang lebih ringan dan lebih ekonomis dikarenakan baja dinilai dari berat akan tetapi tetap kuat atas beban-beban yang dipikul, serta profil castella ini lebih dikhususkan untuk bentang-bentang panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction, LRFD volume I, Structural Member, Spesification, And Codes*", *Second edition*. Chicago, 1994
- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction, LRFD volume II, Connections*", *second edition*. Chicago, 1994
- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction*", *thirteenth edition*. Chicago, 2005
- Badan Standarisasi Nasional, "*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729-2002*", Bandung, 2000
- Badan Standarisasi Nasional, "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002*" Jakarta, 2001
- Blodgett Omer W, "*Design of Welded Structures*"
- Bowles Joseph E., "*Structures Steel Design*" international student edition
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, "*Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*" Bandung, 1983
- Kleinlogel, A "*Rigid Frame Formulas*", Preface to the 12th edition, Frederick Unggar Publishing, New York, 1951
- Mac, T.J., "*Steel Structures, Practical Design Studies*", New York, 1981
- Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 1, Desain dan Prilaku*", edisi ketiga, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1992
- Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 2, Desain dan Prilaku*", edisi kedua, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1995
- Setiawan Agus, "*Perencanaan Struktur Baja, Metode LRFD*", edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 2013
- .



LAMPIRAN

SKRIPSI



MARCH 12, 2015
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR PERSEMBAHAN

Rasa terimakasih banyak saya persembahkan kepada Allah SWT Atas hidayah dan ridhonya yang telah memberikan kesempatan dan semangat sehingga terselesaikannya Laporan Skripsi ini, dan tak lupa juga saya berterimakasih kepada kedua orang tua saya dan yang bernama Bapak Sujono dan Ibu Sutatik sekeluarga atas kasih sayang, dukungan semangat dan materiil untuk menyelesaikan kuliah saya di INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG ini.

Penglesaian Laporan Skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bimbingan serta bantuan dari Ibu Ir. Ester Priskasari, M.T dan Bapak Ir. Sudirman Indra, M.Sc.

Saya juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

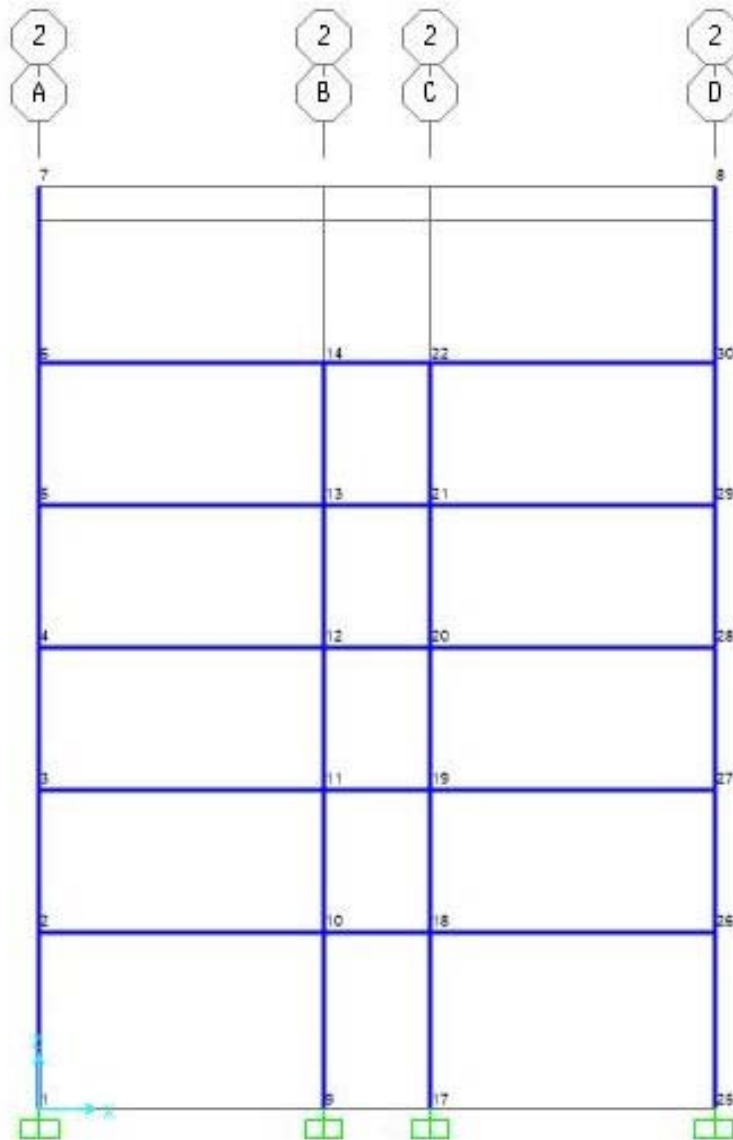
1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulgadi, M.T selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Dr.Ir. Kustamar, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna W., S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
5. Bapak Andik selaku Recording Program Studi Teknik Sipil S-1.
6. Rois Saputro, M. Ridwan. ST, Heppy Nureahyo, Sabda Amarta, Pragoga Mahardhika, Agus Winarno, Agung Saputro, Munir Favian Hugo, Navick, Baroja, M. Jafar selaku Sahabat saya dimalang.
7. Dimas Prastanika, Arie Ungil, Hargo Prasongko selaku Sahabat saya dijombang.
8. Rekan-rekan Teknik sipil yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

9. Mbah di sebelah selatan kontrakan saga selaku penjual makanan dan minuman.
10. Mas Netherland (Londo) selaku penjual lalapan bakar atas dukungan dan candaannya.
11. Ibu kontrakan selaku pemilik kontrakan.

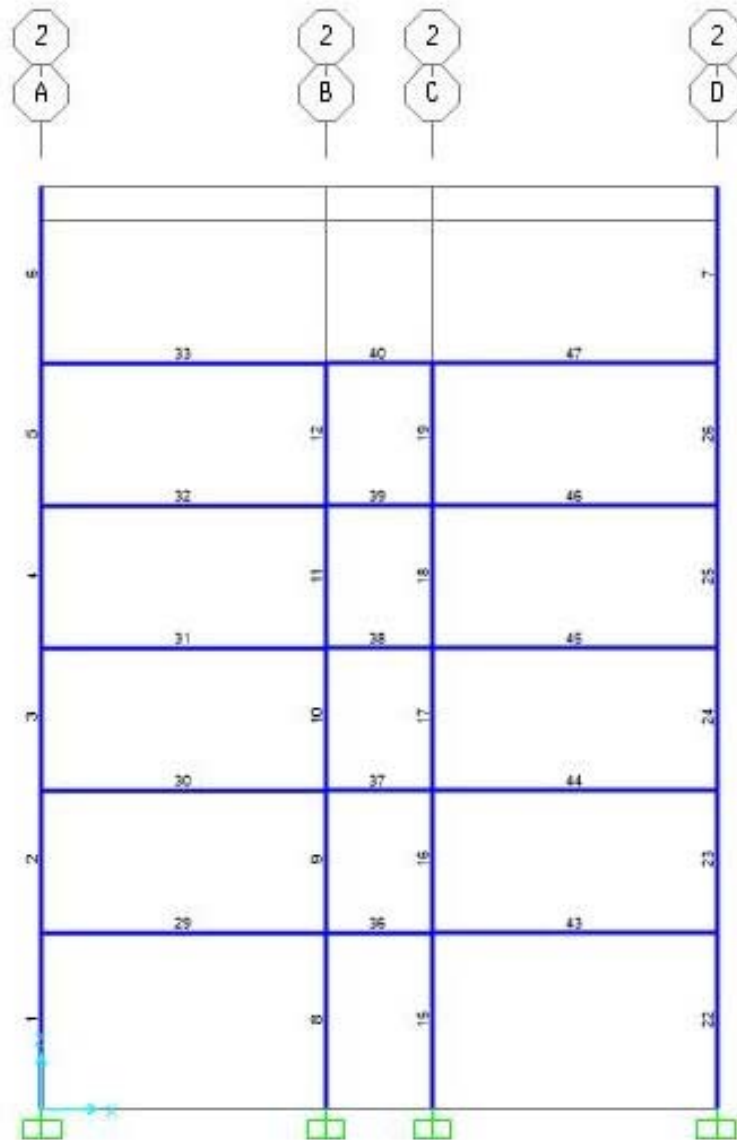
Penulis menyadari Laporan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu dengan segala kerendahan hati pengusun mohon maaf yang sebesar-besarnya jika masih banyak terdapat kekurangan di dalamnya. Untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan, diakhir kata semoga Laporan Skripsi ini dapat bermamfaat bagi kita semua.

Pengusun

Mohammad Tajur Rijal
Nim. 10.21.022

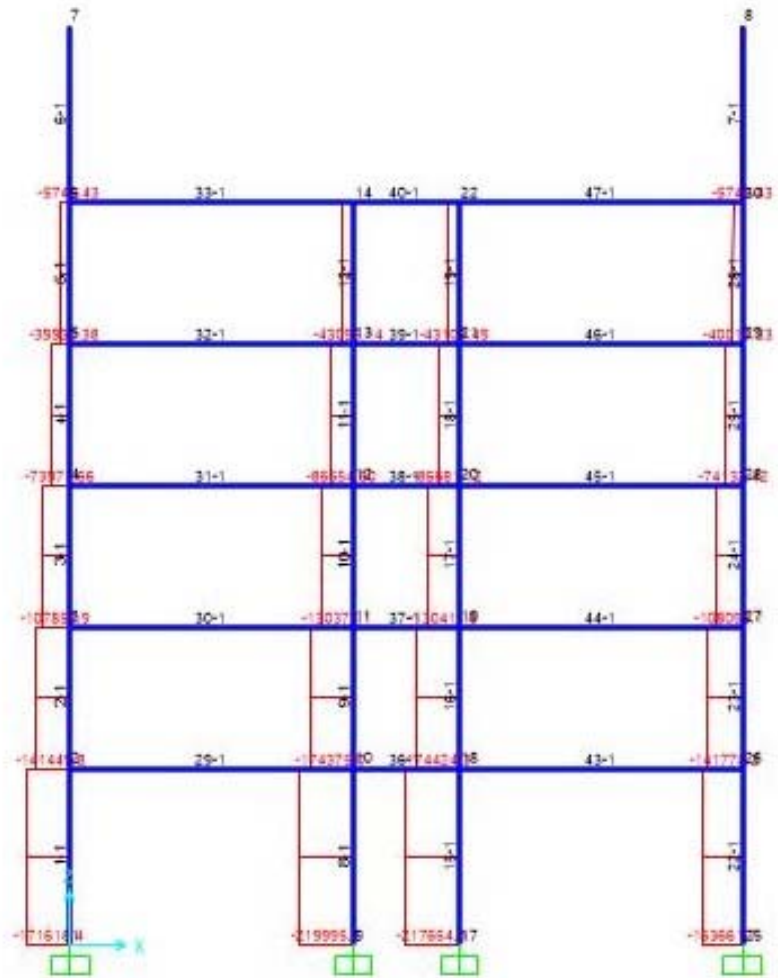


GAMBAR PENOMORAN JOINT



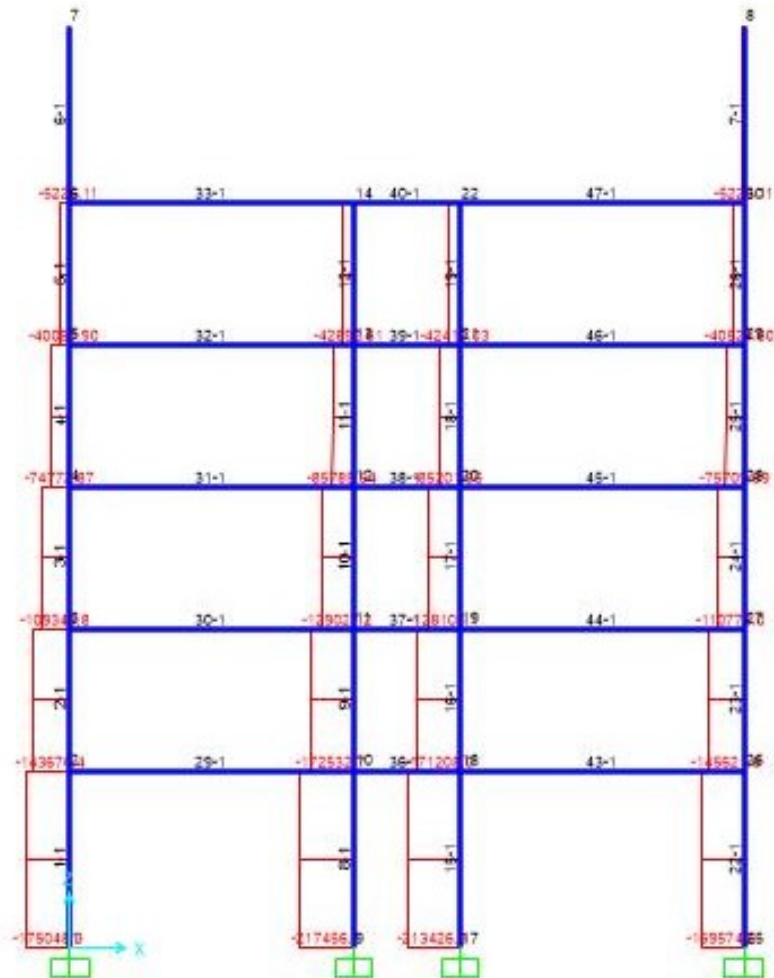
GAMBAR PENOMORAN BATANG

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



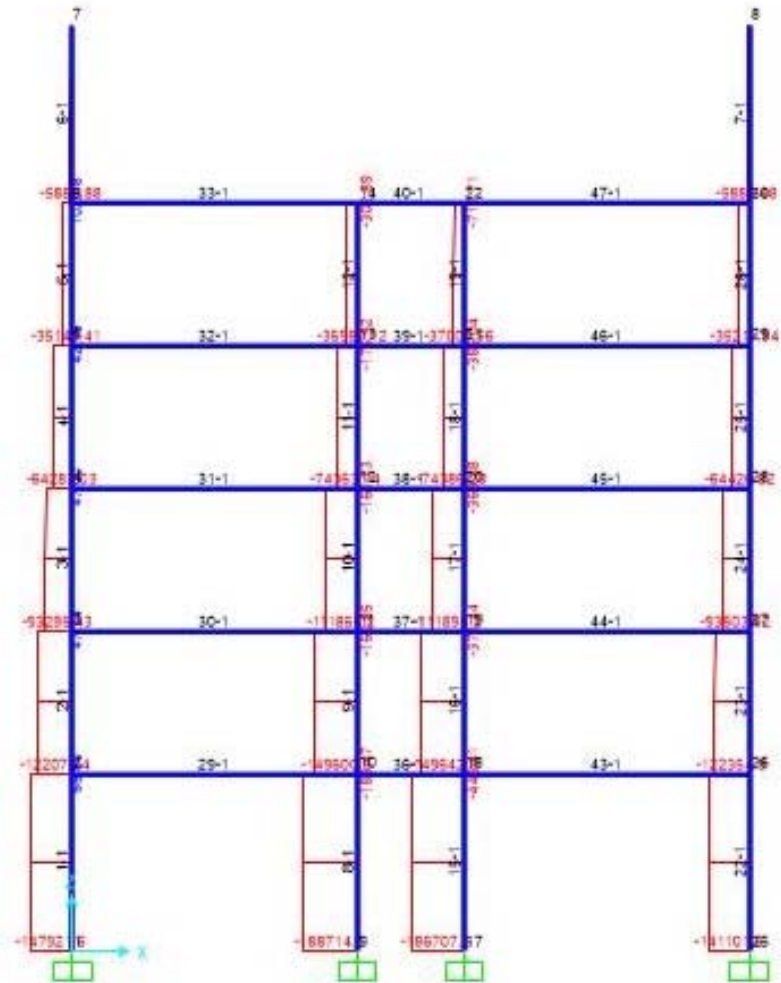
BEBAN KOMBINASI 1

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



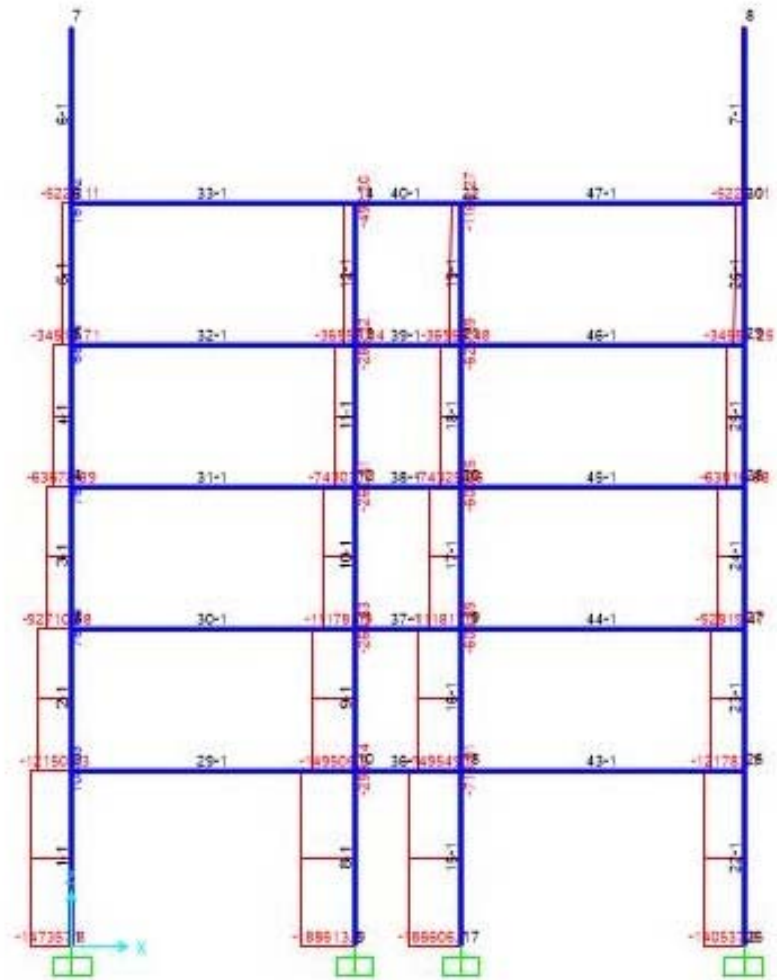
BEBAN KOMBINASI 2

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



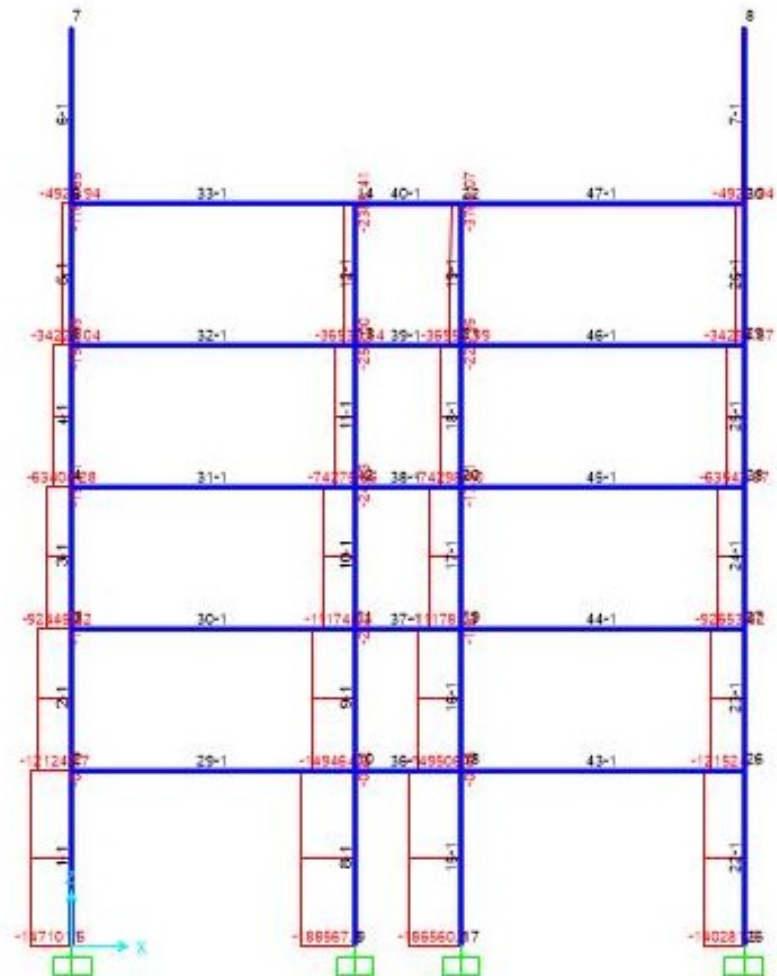
BEBAN KOMBINASI 3

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



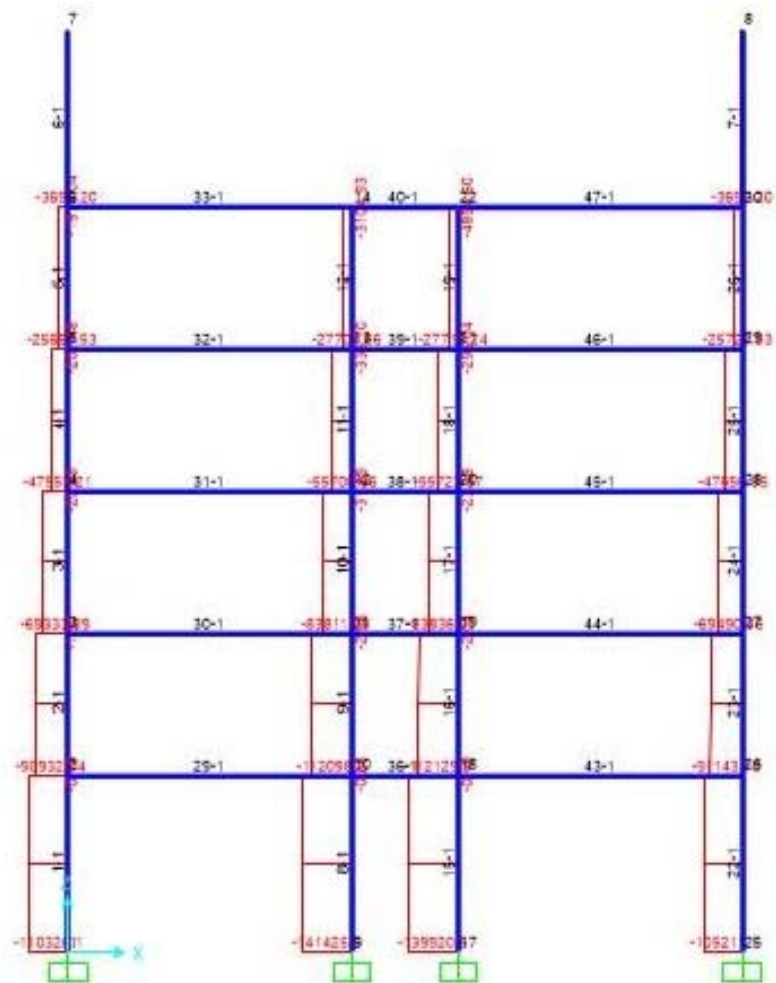
BEBAN KOMBINASI 4

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



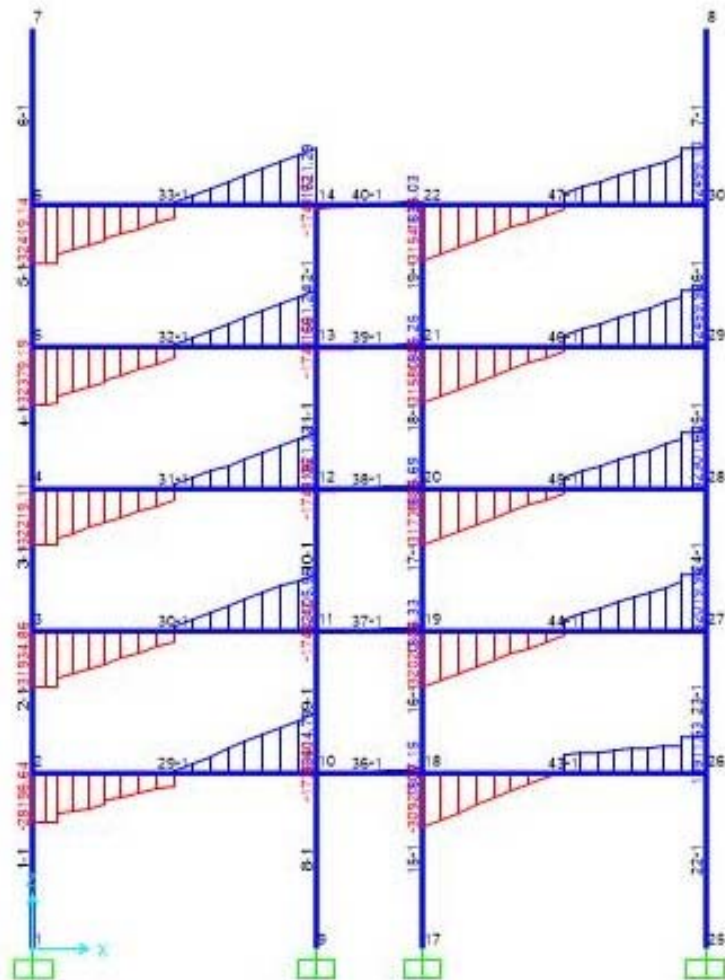
BEBAN KOMBINASI 5

GAMBAR GAYA NORMAL (CASTELLA)



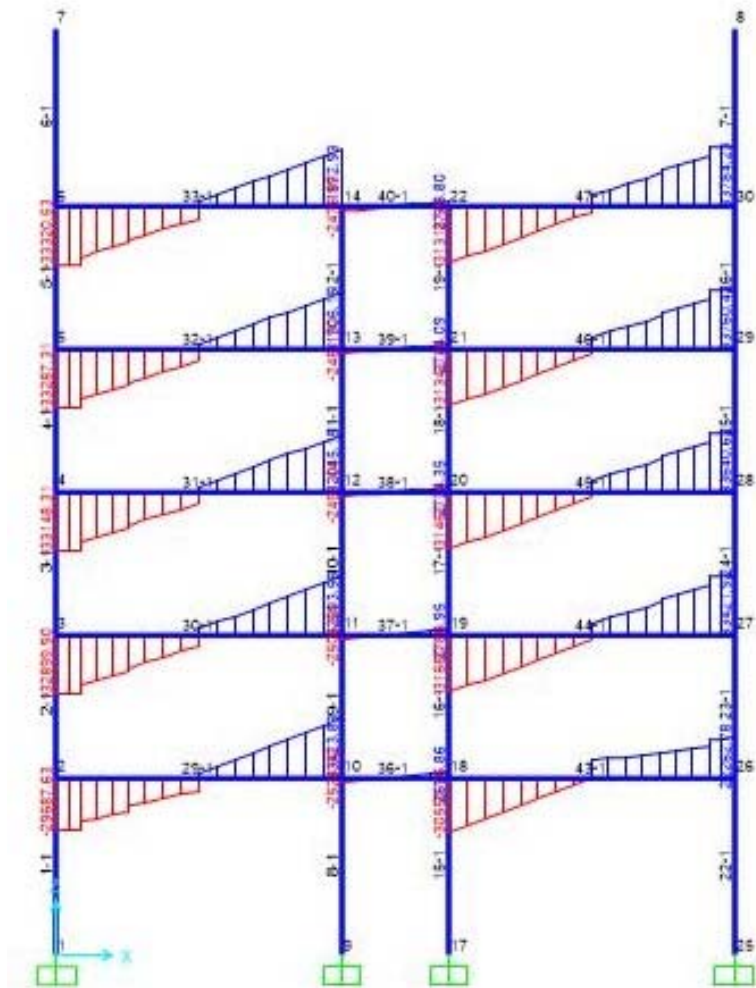
BEBAN KOMBINASI 6

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



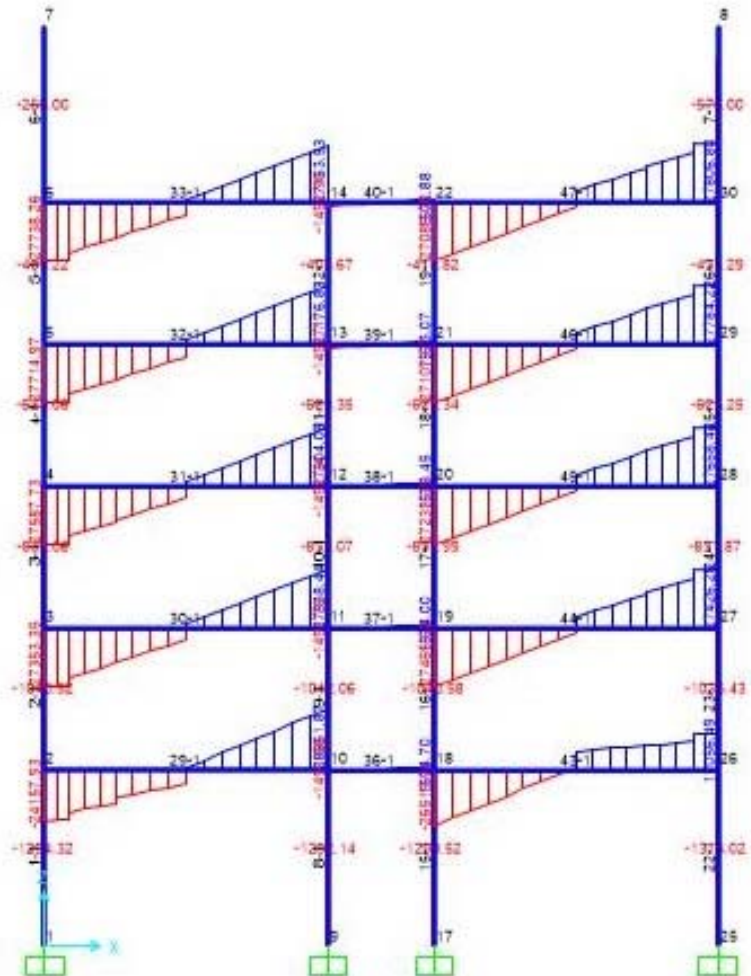
BEBAN KOMBINASI 1

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



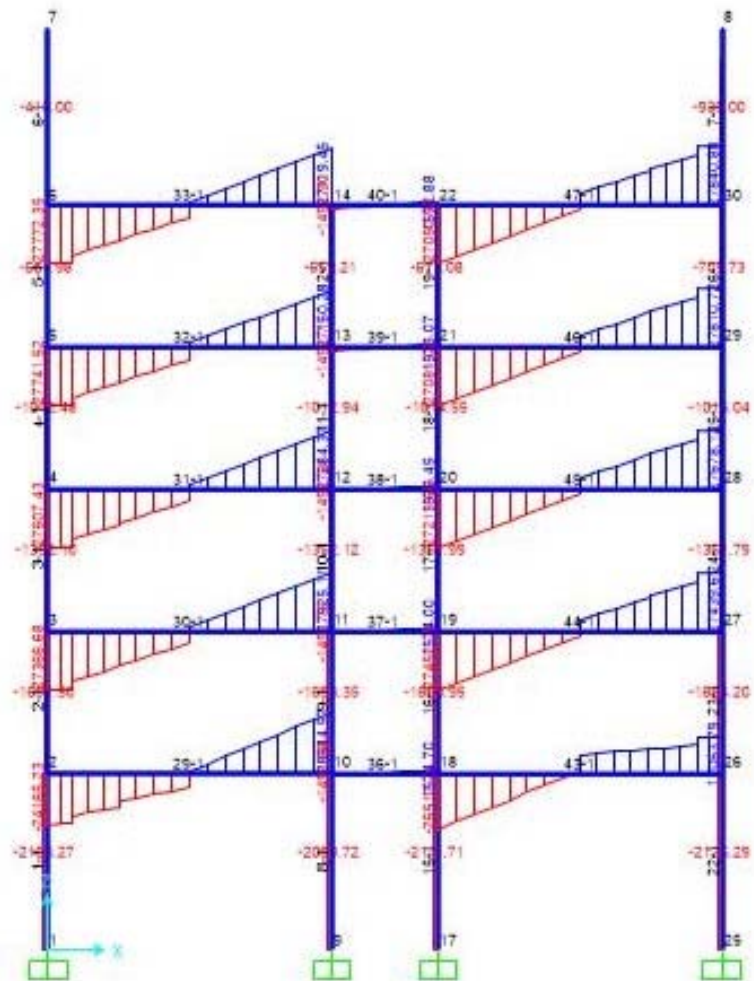
BEBAN KOMBINASI 2

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



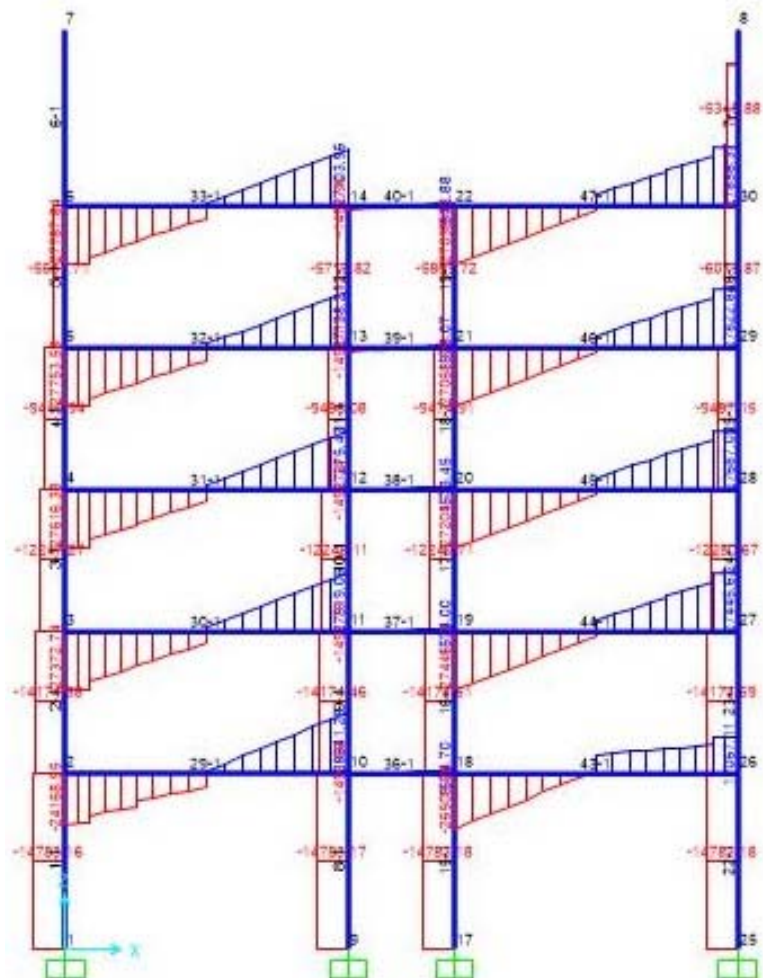
BEBAN KOMBINASI 3

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



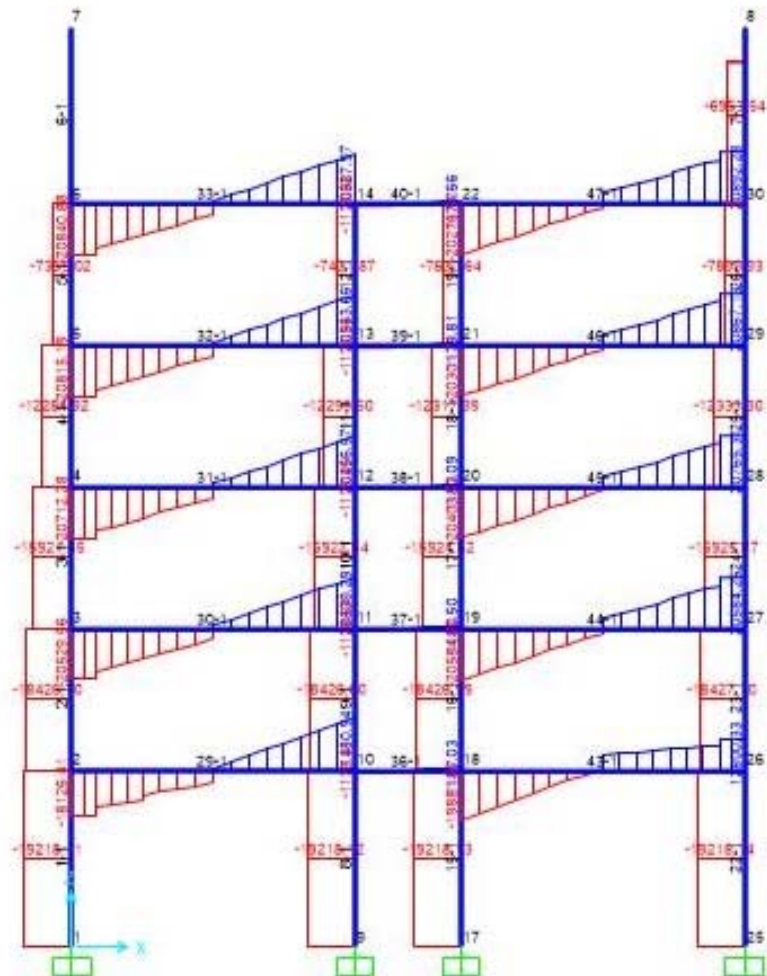
BEBAN KOMBINASI 4

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



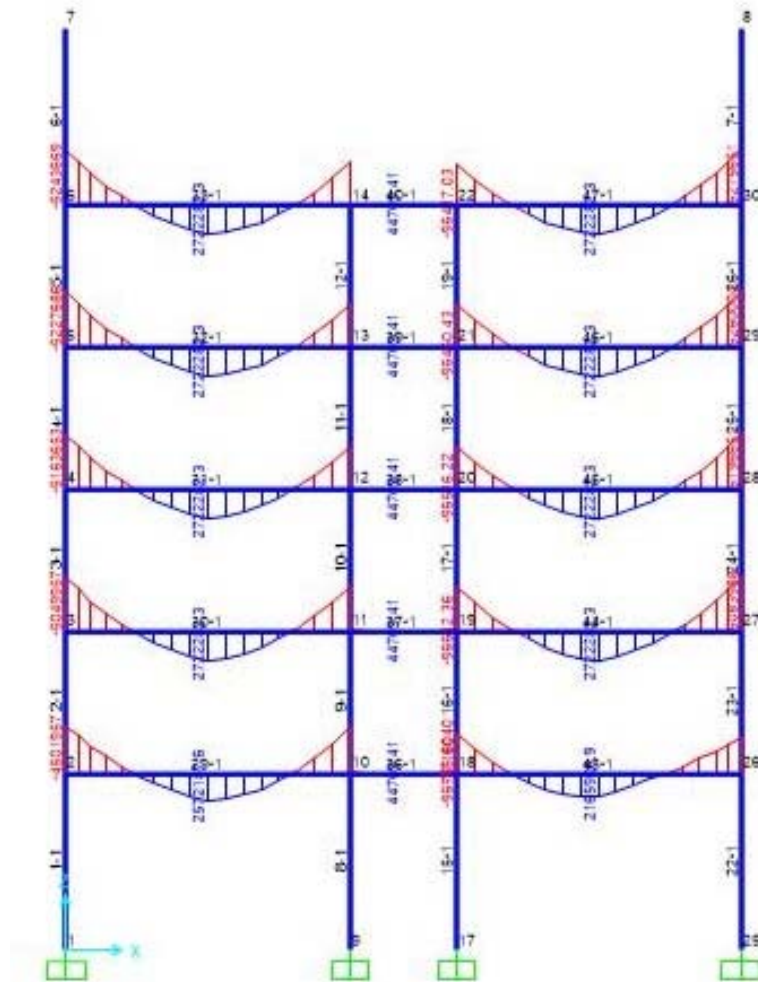
BEBAN KOMBINASI 5

GAMBAR GAYA GESER (CASTELLA)



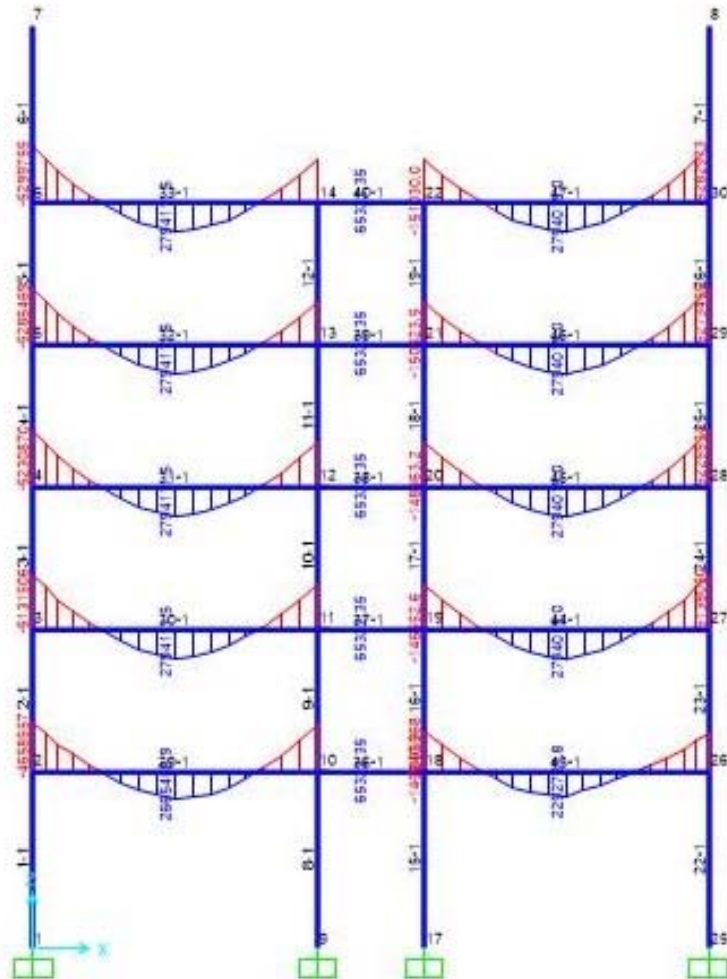
BEBAN KOMBINASI 6

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



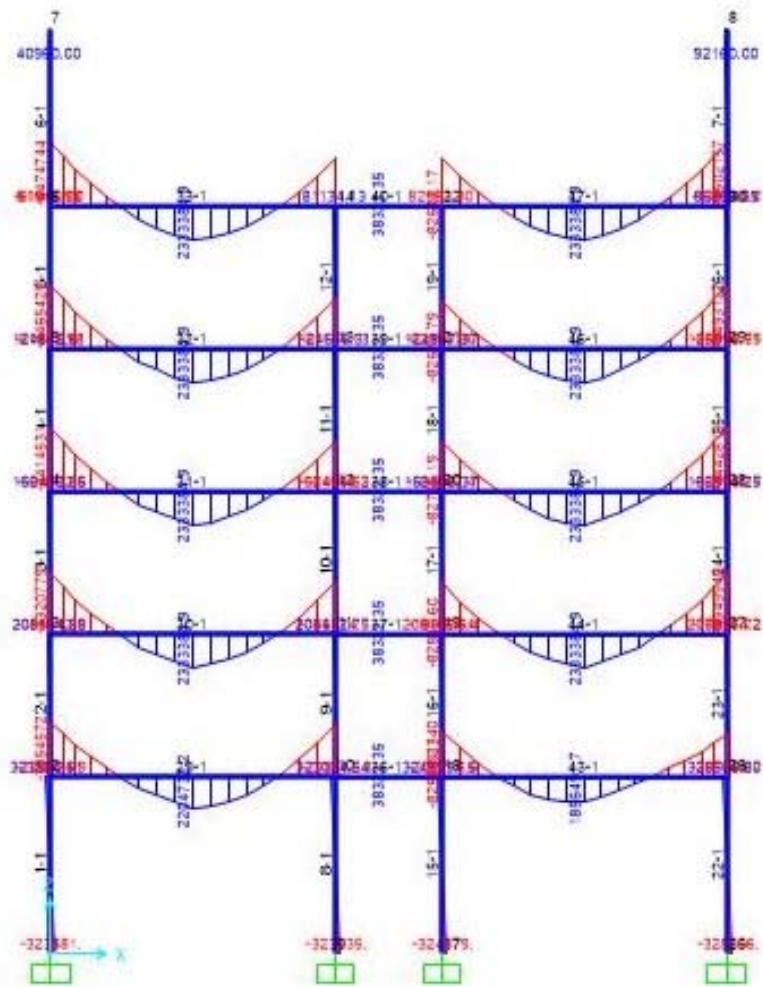
BEBAN KOMBINASI 1

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



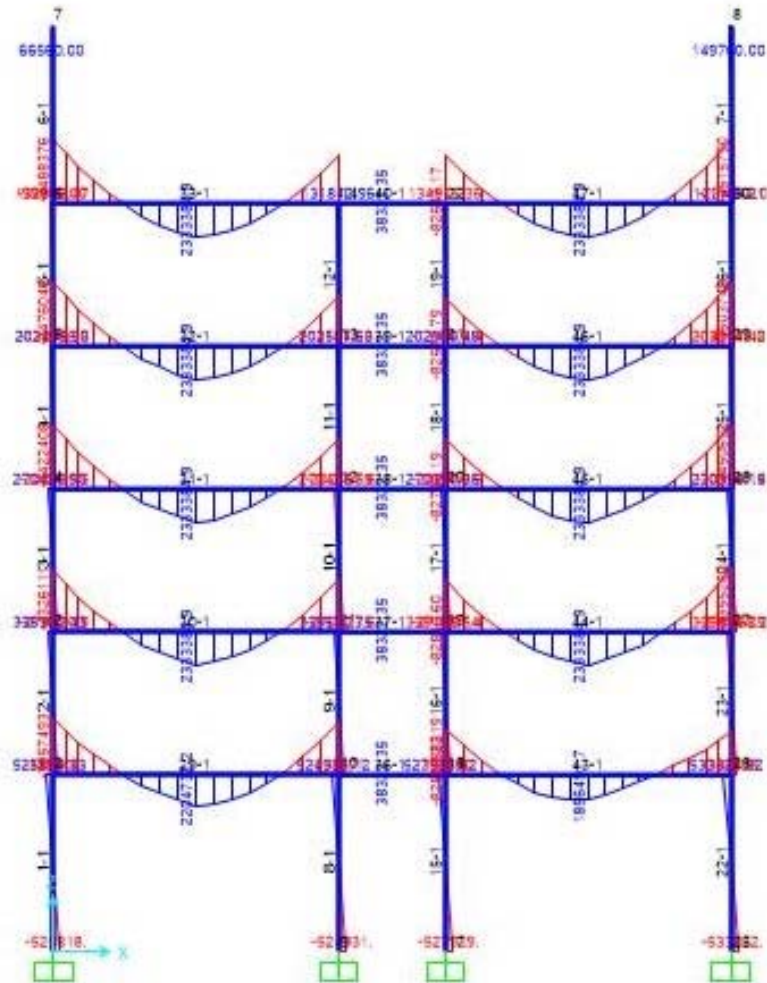
BEBAN KOMBINASI 2

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



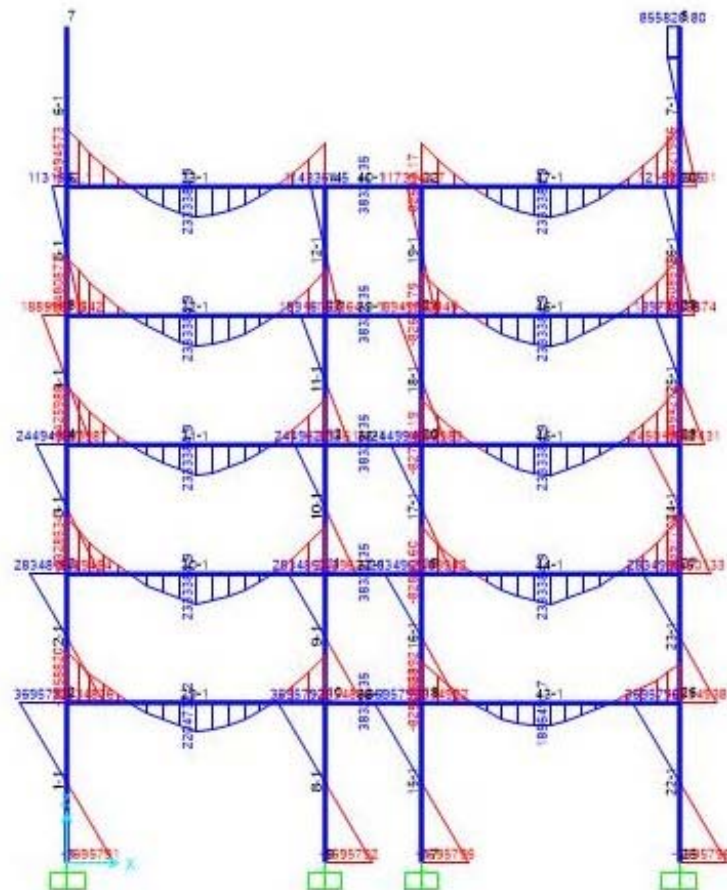
BEBAN KOMBINASI 3

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



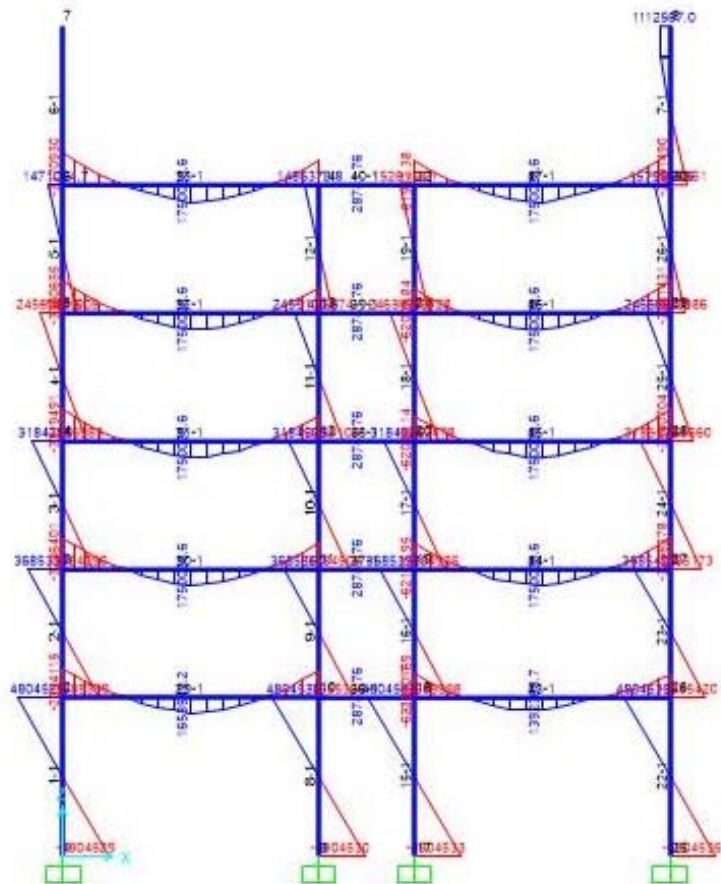
BEBAN KOMBINASI 4

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



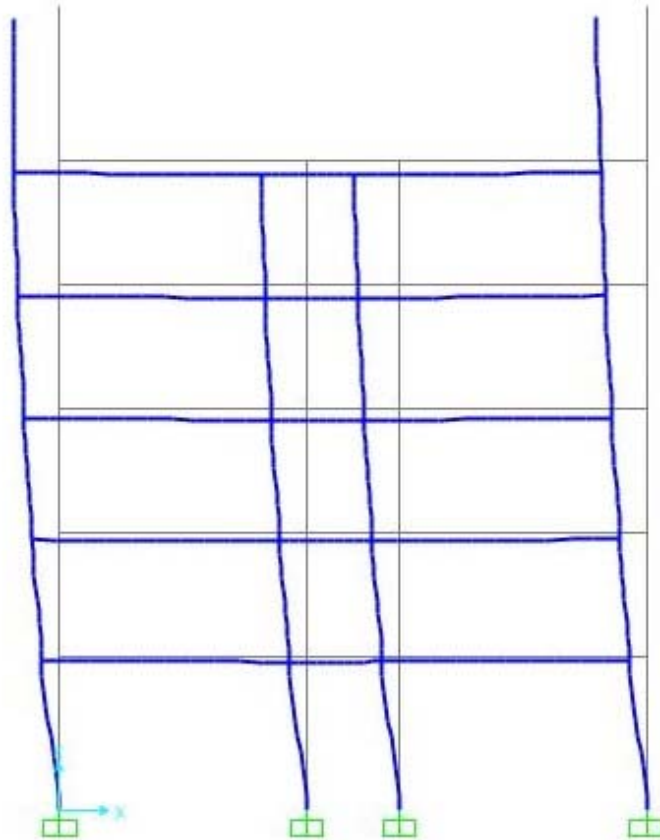
BEBAN KOMBINASI 5

GAMBAR GAYA MOMEN (CASTELLA)



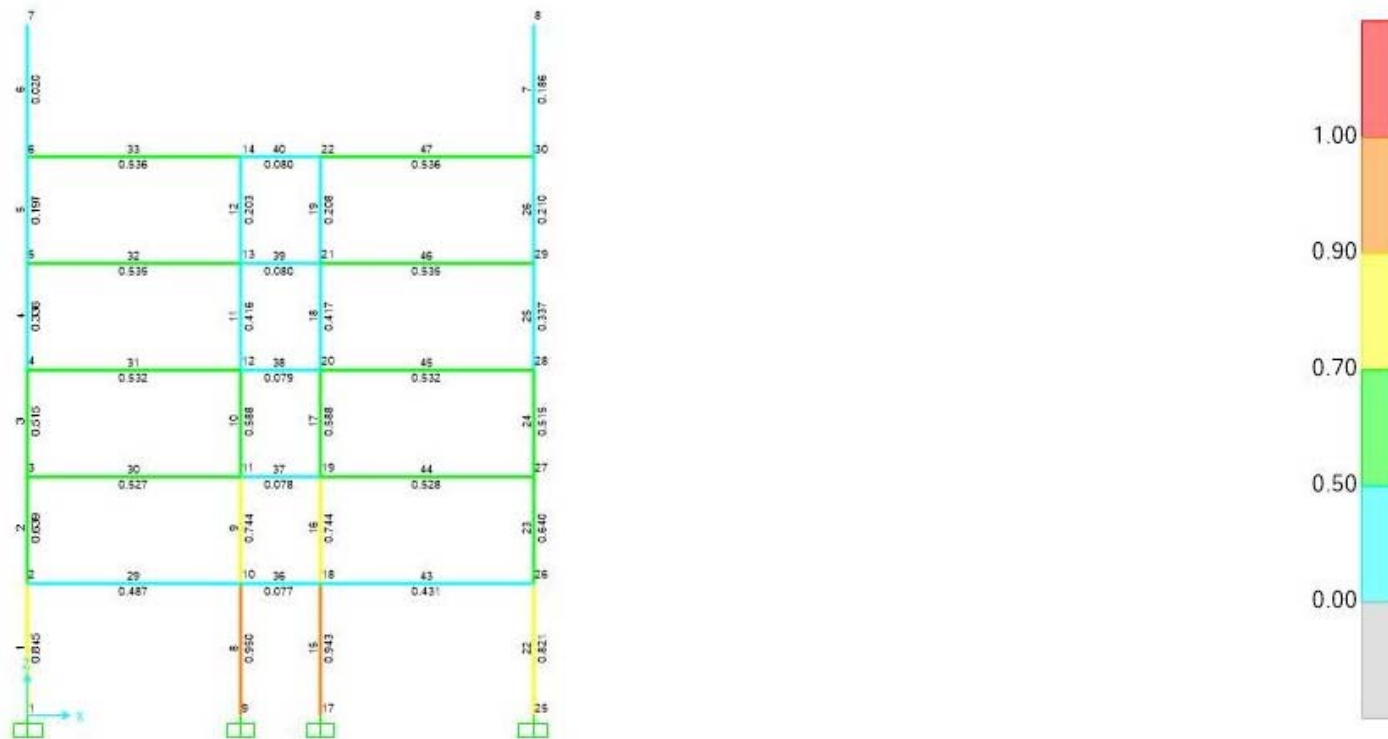
BEBAN KOMBINASI 6

GAMBAR GAYA DEFLECTION / PERSIMPANGAN (*CASTELLA*)



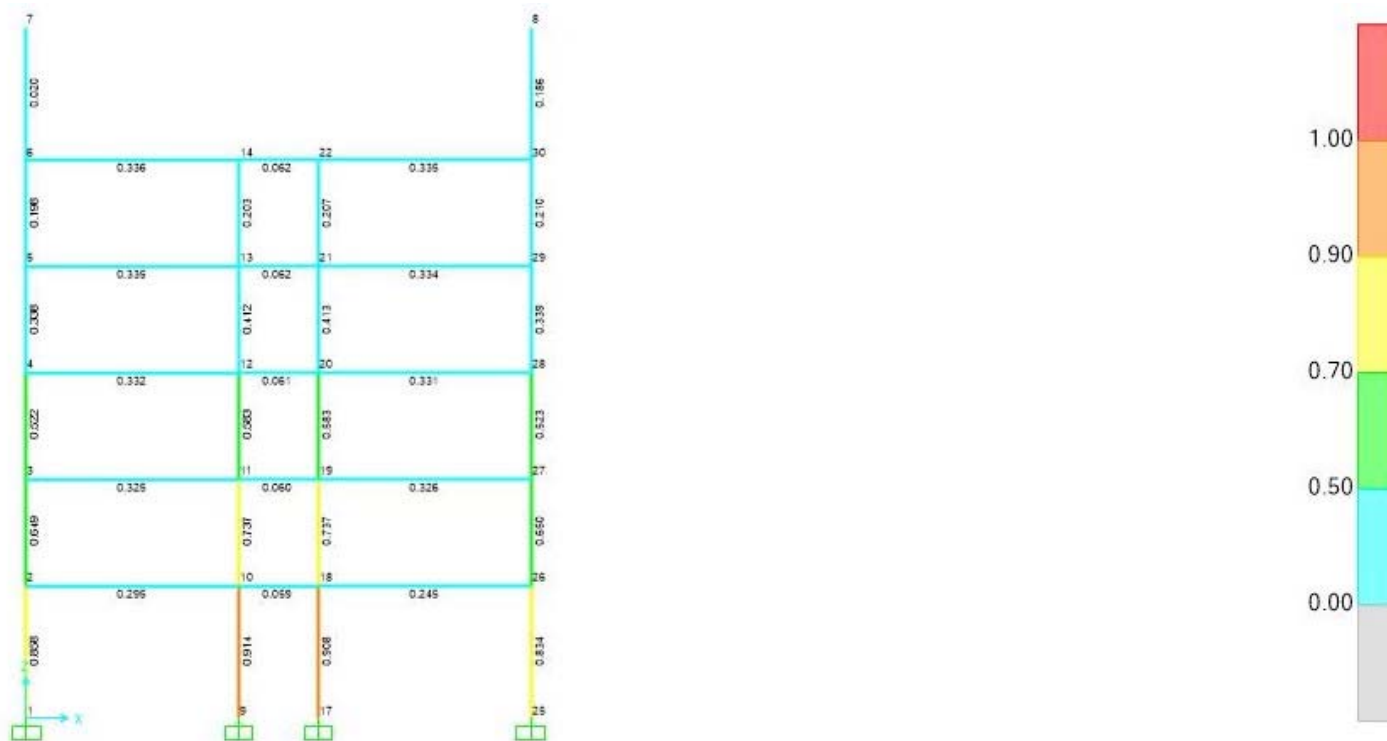
BEBAN KOMBINASI 5

GAMBAR DISPLAY DESIGN INFO



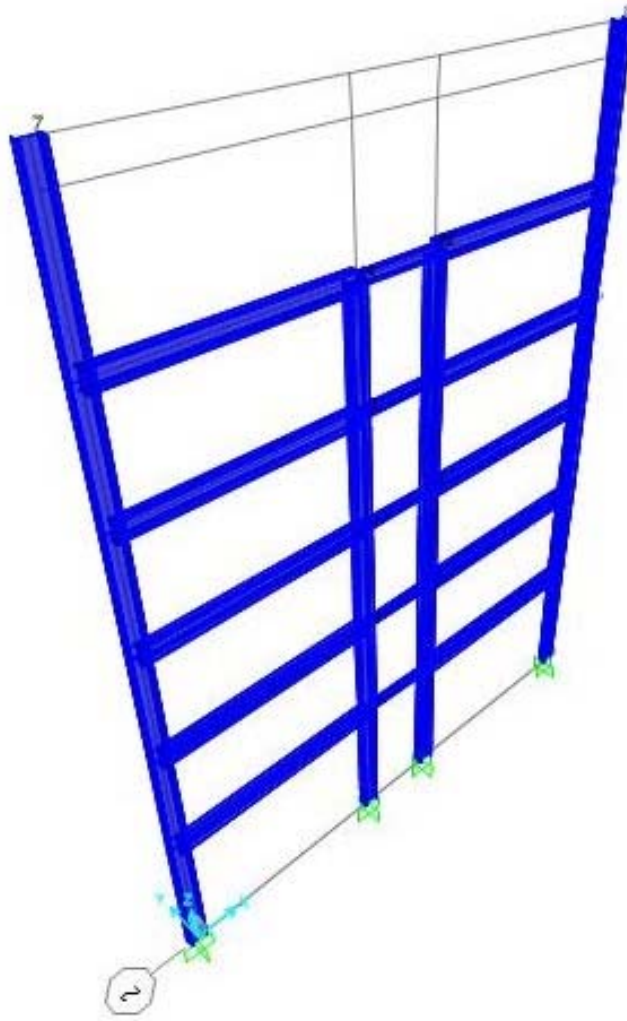
HASIL NILAI RATIO PADA PROFIL BALOK BAJA WF SEBELUM DI CASTELLA

GAMBAR DISPLAY DESIGN INFO



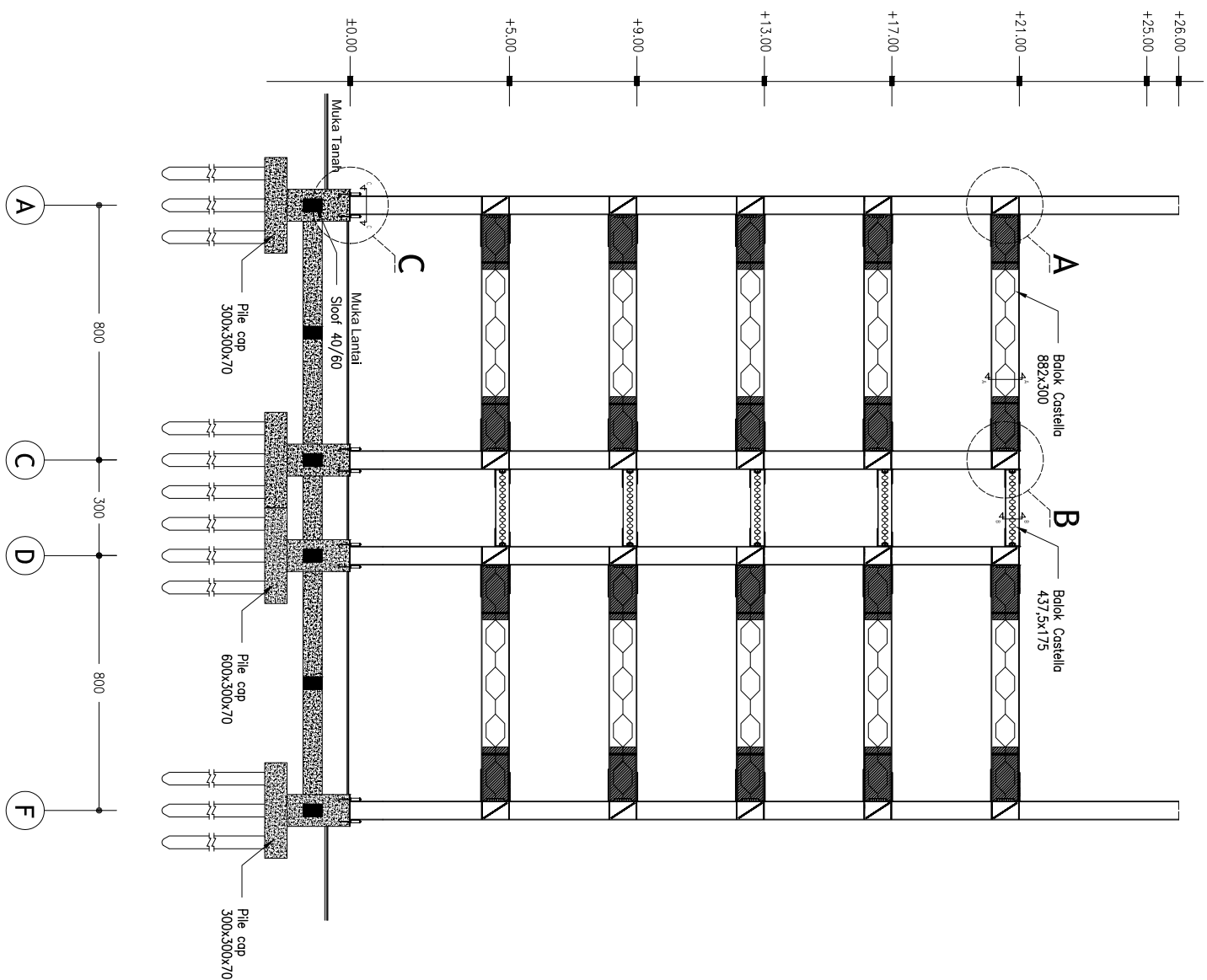
HASIL NILAI RATIO PADA PROFIL BALOK BAJA WF YANG SESUDAH DI CASTELLA

GAMBAR 3D



PROFIL BAJA


HASIL DESIGN PROGRAM SAP2000 v17.

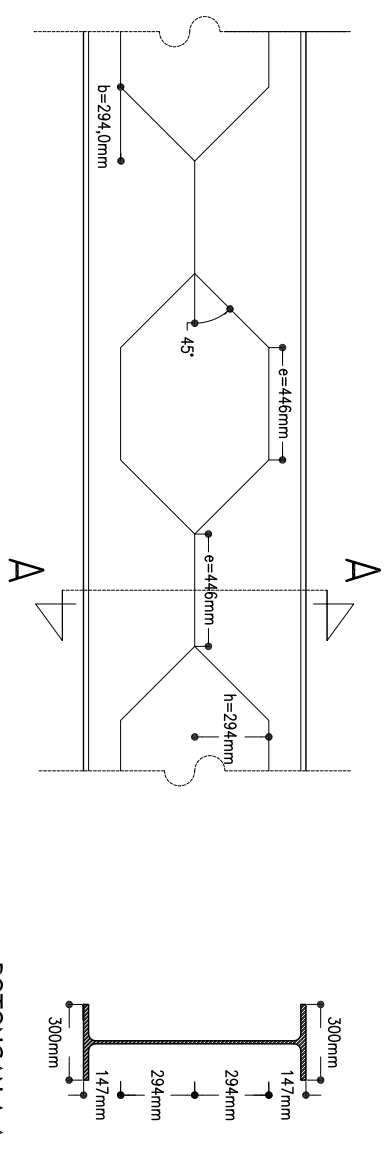


POTONGAN MELINTANG

SKALA 1 : 100



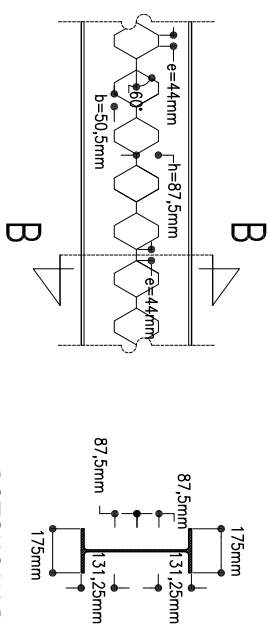
	PROGRAM		DIBUAT OLEH		MENYETUJUI		MENYETUJUI		JUDUL GAMBAR		SKALA
	SKRIPSI			PEMBIMBING SKRIPSI		PENGUJI SKRIPSI		POTONGAN MELINTANG POTONGAN BALOK CASTELLA A-A POTONGAN BALOK CASTELLA B-B		1 : 100 1 : 30 1 : 30	
				PEMBIMBING I	PEMBIMBING II	PENGUJI I	PENGUJI II				
				Ir. ESTER PRISKASARI.,MT.		Ir. SUDIRMAN INDRA.,MSc					
		KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR							
		STR	1	4							



POTONGAN A-A

POTONGAN BALOK CASTELLA A-A

SKALA 1 : 30

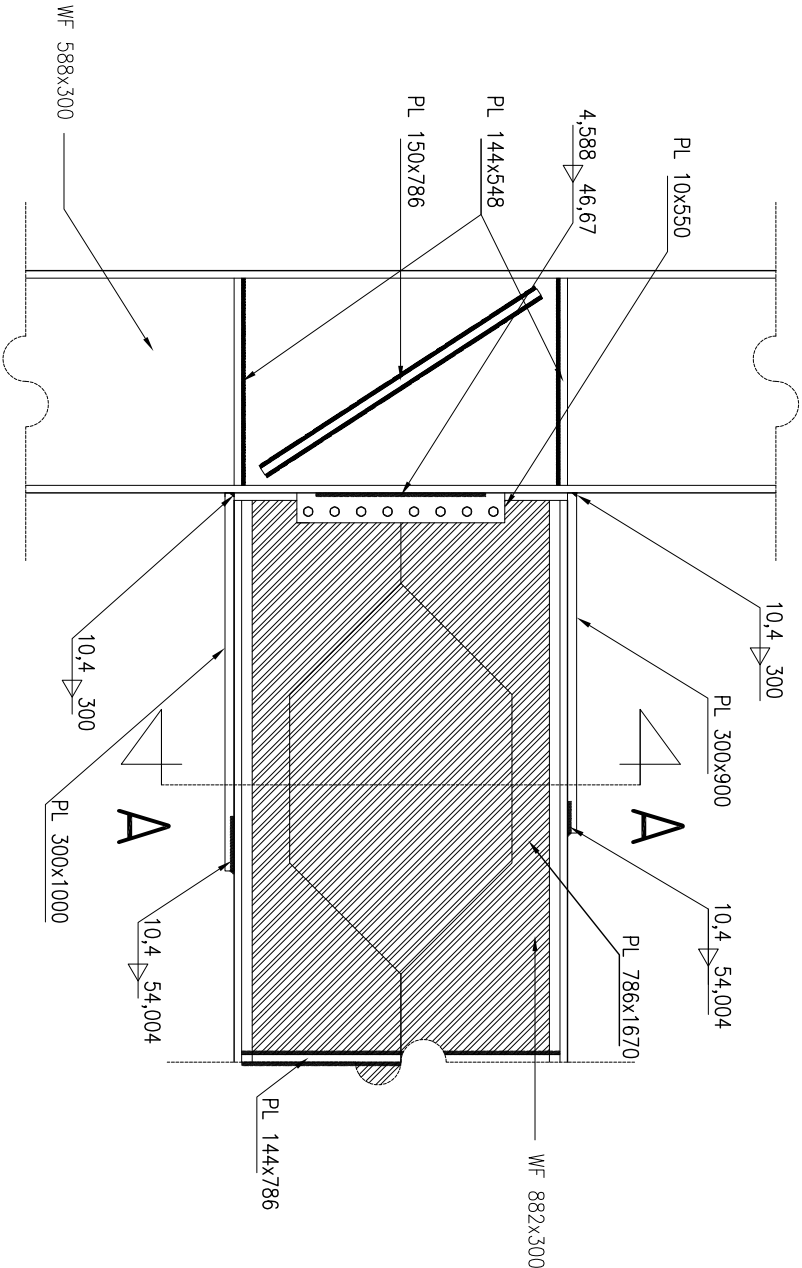


POTONGAN B-B

POTONGAN BALOK CASTELLA B-B

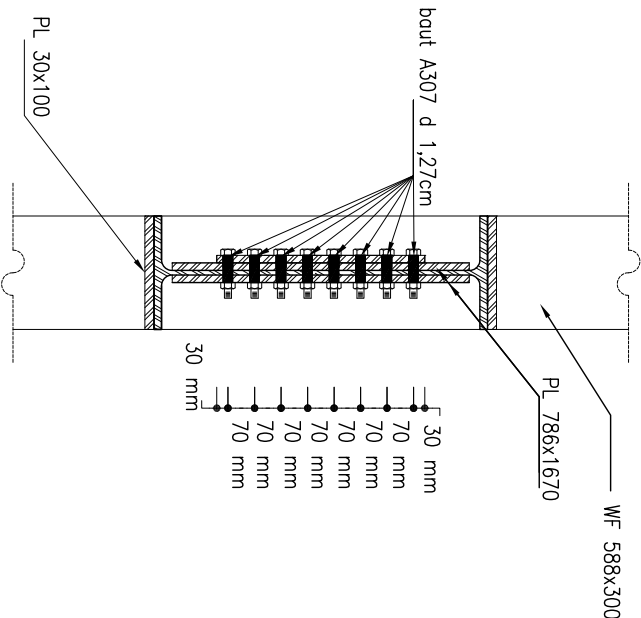
SKALA 1 : 30





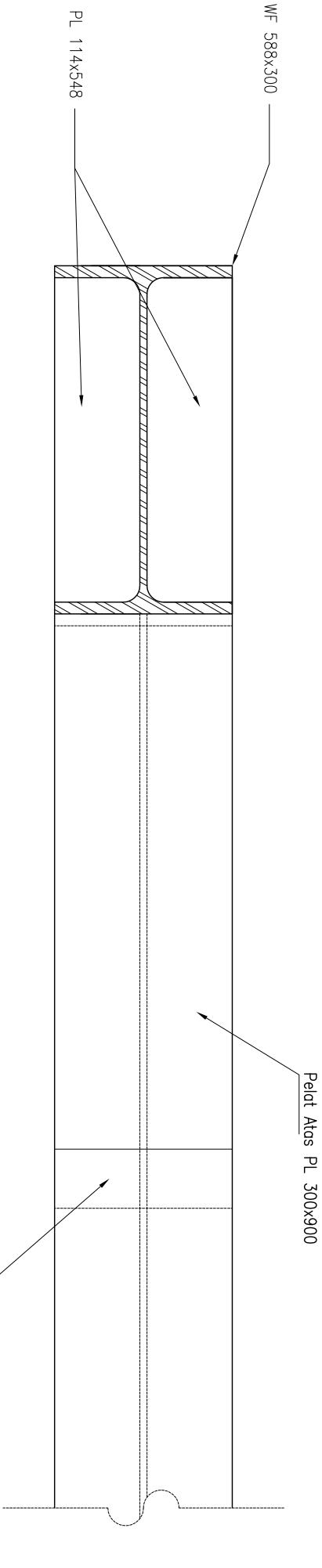
DETAIL SAMBUNGAN A - A

SKALA 1 : 20




POTONGAN A - A

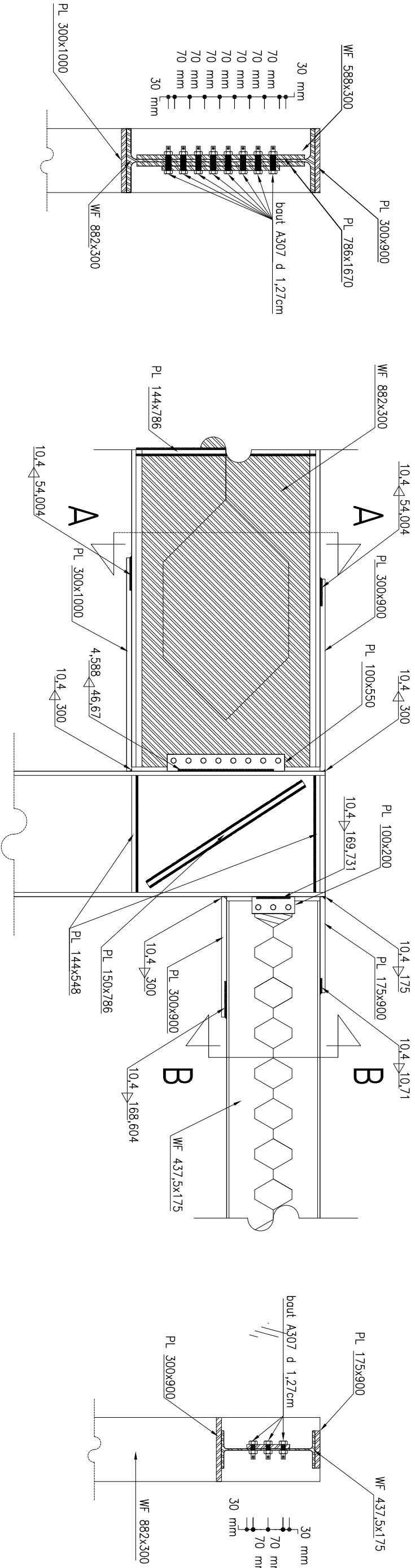
SKALA 1 : 20



TAMPAK ATAS DETAIL SAMBUNGAN A - A

SKALA 1 : 10

<div></div> <div>PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1</div> <div>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</div> <div>INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG</div>	PROGRAM		DIBUAT OLEH		MENYETUJUI				MENYETUJUI				JUDUL GAMBAR		SKALA			
	SKRIPSI		<u>MOHAMMAD TAJUR RIJAL</u> 10.21.022		PEMBIMBING SKRIPSI				PENGUJI SKRIPSI				DETAIL SAMBUNGAN A-A		1 : 20			
					PEMBIMBING I				PEMBIMBING II				POTONGAN A-A				1 : 20	
					PEMBIMBING II				PENGUJI I				TAMPAK ATAS DETAIL SAMBUNGAN A-A				1 : 10	
					PENGUJI I				PENGUJI II									
					Ir. ESTER PRISKASARI, MT.				Ir. SUDIRMAN INDRA, MSc									
													KODE GAMBAR		NO. LEMBAR		JUMLAH LEMBAR	
													STR		2		4	



POTONGAN A - A

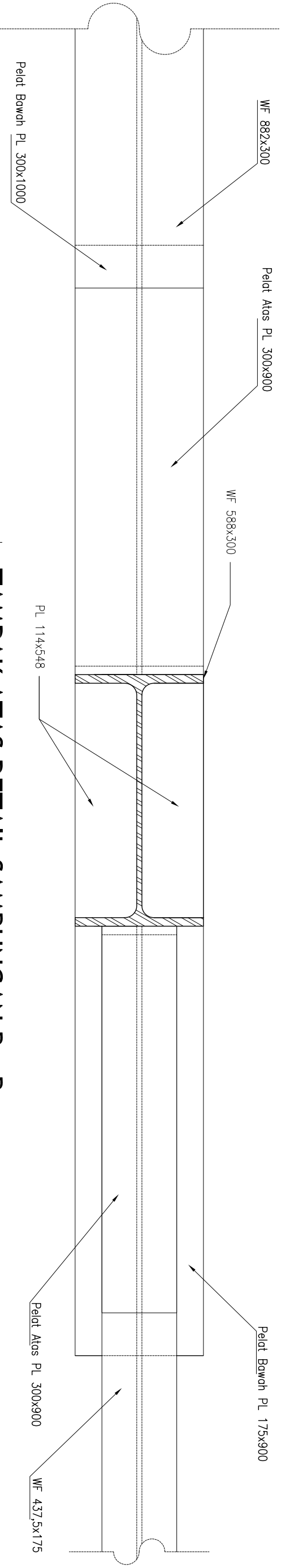
SKALA 1 : 20

DETAIL SAMBUNGAN B - B

SKALA 1 : 20


POTONGAN B - B

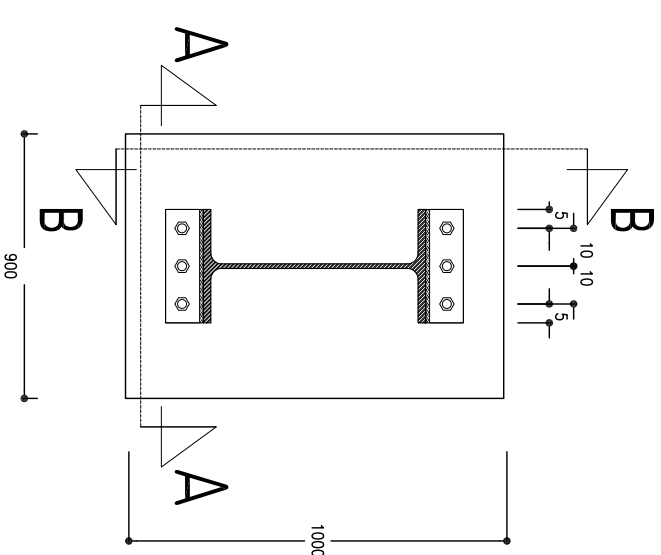
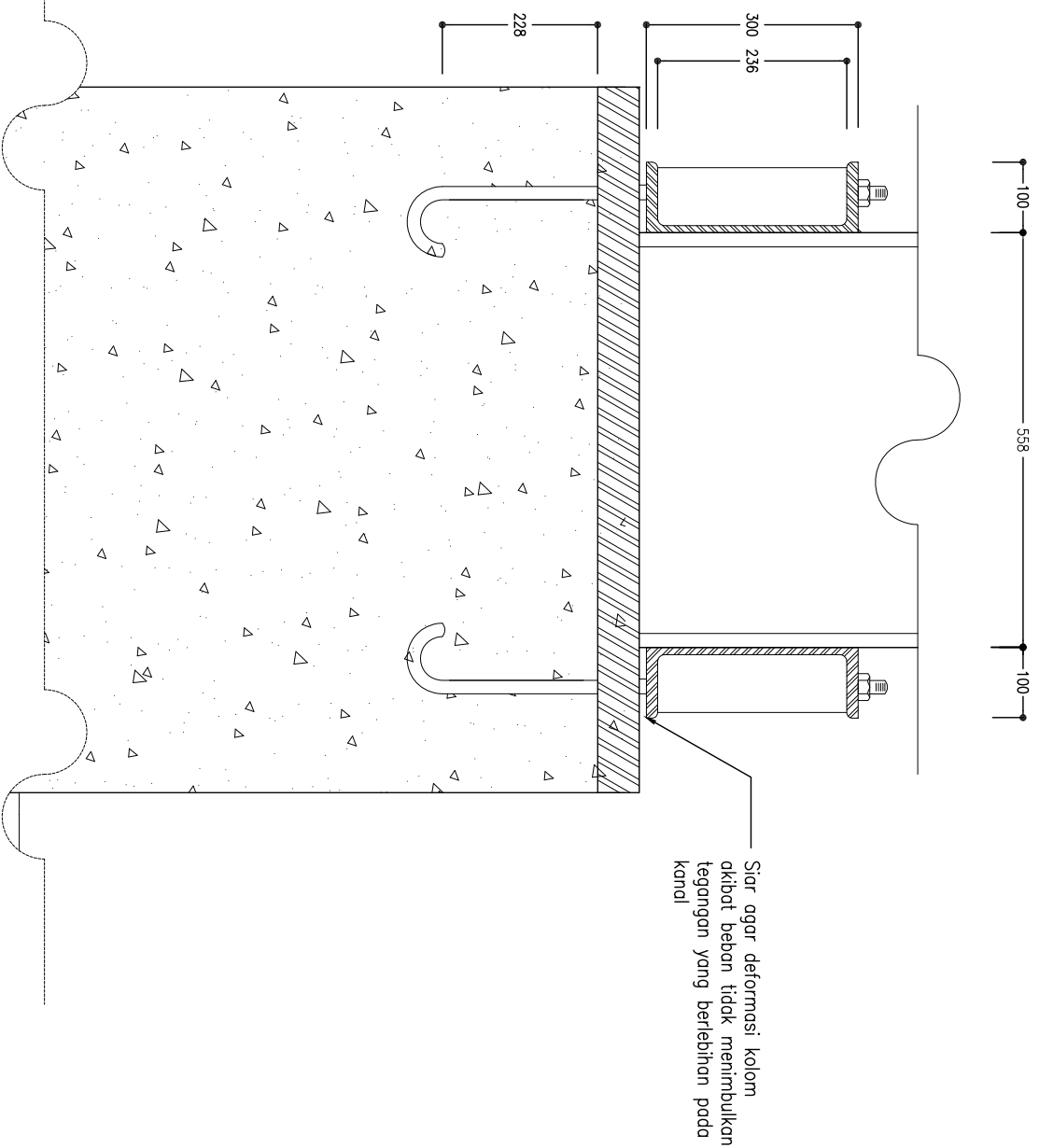
SKALA 1 : 20



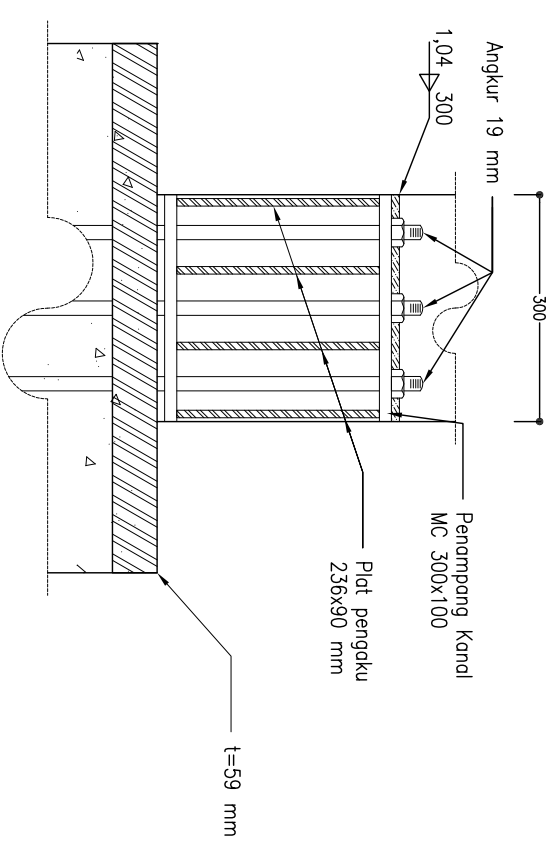
TAMPAK ATAS DETAIL SAMBUNGAN B - B

SKALA 1 : 10


 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG	PROGRAM		DIBUAT OLEH		MENYETUJUI				MENYETUJUI		JUDUL GAMBAR		SKALA
	SKRIPSI		MOHAMMAD TAJUR RUAL 10.21.022		PEMBIMBING SKRIPSI				PENGUJI SKRIPSI		DETAIL SAMBUNGAN B-B POTONGAN A-A POTONGAN B-B TAMPAK ATAS DETAIL SAMBUNGAN B-B		1 : 20 1 : 20 1 : 20 1 : 10
					PEMBIMBING I		PEMBIMBING II		PENGUJI I		PENGUJI II		JUMLAH LEMBAR
					Ir. ESTER PRISKASARI, MT.		Ir. SUDIRMAN INDRA, MSc						
						KODE GAMBAR		NO. LEMBAR					
						STR		3		4			



POTONGAN BASE PLATE C-C



DETAIL POTONGAN A-A

			
PROGRAM		DIBUAT OLEH	
SKRIPSI		MENYETUJUI	
		PEMBIMBING SKRIPSI	
		PEMBIMBING I	PEMBIMBING II
		PENGUJI I	PENGUJI II
		<u>Ir. ESTER PRISKASARI, MT.</u>	<u>Ir. SUDIRMAN INDRA, MSc</u>
JUDUL GAMBAR		SKALA	
POTONGAN BASE PLATE C-C DETAIL, POTONGAN A-A DETAIL, POTONGAN B-B		1 : 20 1 : 10 1 : 10	
KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR	
STR	4	4	